

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Výukové pracoviště s průmyslovým robotem IRB360
Educational Workplace with IRB360 Industrial Robot

Student:
Bc. Tomáš Červenka

Vedoucí diplomové práce:
prof. Dr. Ing. Petr Novák

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Červenka**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T013 Robotika
Téma: **Výukové pracoviště s průmyslovým robotem IRB360**
Educational Workplace with IRB360 Industrial Robot

Zásady pro vypracování:

1. Popište a uveďte základní technické parametry komponent výukového robotizovaného pracoviště s IRB 360, včetně systému strojového vidění.
2. Navrhněte a realizujte výukové úlohy pro toto pracoviště včetně periférií.
3. Realizované úlohy detailně popište formou návodu ke cvičení a v elektronické formě doložte kompletní dokumentaci k programům.
4. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

Manuály ABB dodané s robotizovaným pracovištěm.

Mžík, J. *Robotizované výukové pracoviště s robotem ABB IRB 360*. diplomová práce, VŠB-TU Ostrava, Katedra robototechniky, 2013, 74s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr.Ing. Petr Novák**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014

prof. Dr.Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́една́но, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́една́но, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Tomáš Červenka

Adresa trvalého pobytu studenta:

Za Olšinou 84, Václavovice, 739 34

Poděkování:

Děkuji především prof. Dr. Ing. Petru Novákovi za poskytnuté konzultace a pomoc při řešení mé diplomové práce. A dále děkuji mé rodině, za podporu v průběhu celého studia.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Červenka, Tomáš. *Výukové pracoviště s průmyslovým robotem IRB360*.

Ostrava: katedra robototechniky, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014, 60 s., Diplomová práce, vedoucí: prof. Dr. Ing. Petr Novák

Diplomová práce pojednává o vytvoření a odladění výukových aplikací na pracovišti s průmyslovým robotem ABB IRB360 FlexPicker. Řešené aplikace využívají subsystém strojového vidění, instalovaného na pracovišti, s následnou analýzou obrazu v softwaru PickMaster. Úvodní část práce obsahuje rešerše o použití robotu s delta strukturou a systému strojového vidění. Dále je popsán stávající stav pracoviště na Centru robotiky včetně popisu všech instalovaných periférii. V hlavní části práce jsou popsány tři aplikace, ke kterým jsou vytvořeny podrobné návody do cvičení. Aplikace jsou navrženy od nejjednodušších Pick&Place a třídění objektů podle barvy až po složitější inspekční úlohu kontroly úplnosti balení.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Červenka, Tomáš. *Educational Workplace with IRB360 Industrial Robot*.

Ostrava: Department of Robotics, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2014, 60 p., Master Thesis, Supervisor: prof. Dr. Ing. Petr Novák

The thesis deals with the creation and specification educating applications in the workplace with the industrial robot ABB IRB360 FlexPicker. Applications, which I deal with use subsystem of machine vision installed in the workplace, with following analysis of image in the software PickMaster. Introduction contains researches about using robots with delta structure and system of a machine vision. Further there is described existing state of the workplace in the Robotic center including description of all installed peripherals There are described three applications for which are created detailed instruction for practice in the main part. Applications are created from the simplest Pick&Place and the sorting objects by colour to more complicated inspection tasks of control of the completeness of the package.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	10
Úvod.....	11
1 Průmyslový robot.....	12
1.1 PR s paralelní strukturou.....	12
1.1.1 Historie delta struktury	13
1.1.2 Popis struktury delta robotu.....	14
1.1.3 Použití PR s delta strukturou	15
1.1.4 Zařízení využívající delta strukturou.....	16
2 Strojové vidění.....	20
2.1 Využití strojového vidění.....	21
2.2 Hlavní prvky subsystému strojového vidění.....	22
2.2.1 Osvětlení.....	22
2.2.2 Kamera	24
2.2.3 Sběrnice	26
3 Pracoviště s ABB IRB360 FlexPicker	27
3.1 Schéma pracoviště	27
3.2 Stroje a zařízení na pracovišti.....	28
3.2.1 Robot IRB360 FlexPicker	28
3.2.2 Řídicí systém IRC5.....	29
3.2.3 Pásový dopravník	30
3.2.4 Bezpečnostní prvky	31
3.2.5 Kamera	32
3.2.6 Osvětlení.....	33
3.2.7 Přísavkový efektor	33
3.2.8 PickMaster3	34

4	Aplikace na pracovišti s ABB IRB360 FlexPicker.....	35
4.1	Pick&Place.....	36
4.1.1	RAPID kód k aplikaci Pick&Place.....	37
4.1.2	Zpracování obrazu	38
4.1.3	Rozšíření aplikace Pick&place	39
4.1.4	RAPID kód k rozšířené aplikaci Pick&Place	41
4.2	Třídění podle barvy.....	43
4.2.1	RAPID kód k aplikaci třídění podle barvy	44
4.2.2	Zpracování obrazu	46
4.2.3	Rozšíření aplikace třídění podle barvy	48
4.3	Kontrola úplnosti	49
4.3.1	RAPID kód k aplikaci kontrola úplnosti	50
4.3.2	Zpracování obrazu	52
4.3.3	Rozšíření aplikace kontrola úplnosti	55
5	Závěr	56
6	Seznam použité literatury a technických podkladů:	57
7	Seznam příloh na CD	60

Seznam použitých značek a symbolů

PR	Průmyslový robot
OM	Objekt manipulace
RAPIR	Programovací jazyk robotu ABB
I/O	Vstup/výstup
SW	Software
HW	Hardware
PC	Počítač
PWM	Pulzní šířková modulace
CNT	Kontejner

Úvod

Neustále rostoucí nároky na zvyšování produkce a kvality výroby má za následek zvýšený zájem o využití automatizace a robotizace ve výrobě. Na trhu najdeme řadu výrobců, kteří se problematikou průmyslové robotizace zabývají již celou řadu let a nabízejí nepřebernou škálu průmyslových robotů určených speciálně pro dané aplikace.

V dnešní době se stává nedílnou součástí výrobních linek také strojové vidění. Toto vidění se nejčastěji aplikuje buď k výstupní kontrole (kontrola sestavení a úplnosti balení, měření tolerancí a drsnosti povrchů atd.) nebo u vstupu k navigaci robotu, určování polohy a orientace výrobku.

Výsledným spojením těchto dvou technologií, robotizace a strojové vidění, vzniká efektivní zrychlení výroby a zvýšení kvality nabízených produktů.

Hlavním cílem diplomové práce je vytvoření a realizace výukových návodu k pracovišti s průmyslovým robotem ABB IRB360 FlexPicker s využitím subsystému strojové vidění a následnou analýzou obrazu. Vytvořené aplikace by měly seznámit uživatele se základní prací, programováním robotu a analýzou obrazu v prostředí softwaru PickMaster.

1 Průmyslový robot

Průmyslový robot (PR) je dle normy ISO 8373 automaticky řízený, reprogramovatelný, víceúčelový manipulační stroj, který má minimálně tři programovatelné osy, je umístěn stacionárně nebo na pojezdu a je určený k použití v průmyslové automatizaci.

Průmyslové roboty můžeme dělit podle celé řady kritérií (dle typu pohonů, tvaru pracovního prostoru, typu použití, atd.), nejčastější dělení je však podle kinematické struktury, a to do tří základních skupin: sériový, paralelní a hybridní (složení sériové a paralelní struktury) robot (obr. 1.1 až 1.3).



obr. 1.1 Sériový robot fy KUKA



obr. 1.2 Paralelní robot fy FANUC



obr. 1.3 Hybridní robot fy ABB

1.1 PR s paralelní strukturou

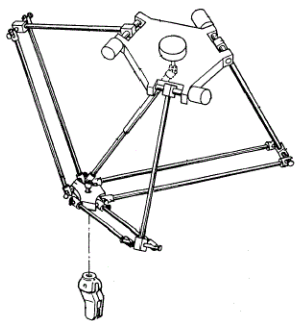
Roboty s paralelní strukturou dále dělíme na hexapod (obr. 1.4) a delta robot. Delta robot je mechanismus až se šesti stupni volnosti, který má obvykle 3 až 4 ramena spojena do jednoho místa (platforma), tím je zajištěna dostatečná tuhost celé soustavy. Relativně nízká nosnost a umístění pohonů uvnitř základny robotu snižuje nároky na sílu ramen a minimalizuje tak setrvačné hmoty. Díky nízkým hodnotám setrvačných hmot ramen může robot dosáhnout velmi vysokých rychlostí (cca 10 000 mm/s)



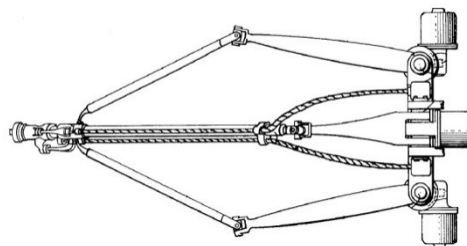
obr. 1.4 Hexapod

1.1.1 Historie delta struktury

Na počátku 80. let, Reymond Clavel (Švýcarský profesor na EPFL - École Polytechnique Fédérale de Lausanne), přichází s geniálním nápadem využít rovnoběžníky k vybudování paralelního robotu se třemi translačními a jedním rotačním stupeň volnosti (obr. 1.4). Na rozdíl od názorů publikovaných jinde, jeho myšlenka byla opravdu originální a nepochází z paralelního mechanismu patentovaného Willard L. Pollardem v roce 1942 (obr. 1.5).



obr. 1.4 Delta robot Dr. Clavera [2]



obr. 1.5 Paralelní mechanismus W.Pollárda [3]

Tato myšlenka spustí vytvoření robotu se strukturou delta, aniž tuší, že na přelomu století bude používána jako jedna z nejúspěšnějších paralelních struktur s několika stovkami aktivních robotu na celém světě. V roce 1991 Reymond Clavel představuje disertační práci „Conception d'un robot parallèle rapide à 4 grés de liberté “ a v roce 1999 získává cenu „The golden robot award“ sponzorováno ABB Flexible Automation.

Společnost ABB Flexible Automation zahájila výrobu prvních delta robotu v roce 1999 pod názvem IRB 340 FlexPicker (obr. 1.6). Hlavní zaměření tohoto delta robotu bylo na tři průmyslová odvětví - potravinářství, farmaceutický a elektronický průmysl. FlexPicker byl vybaven integrovaným vakuovým systémem schopným rychlého Pick&Place (vzít a umístit) objektů do hmotnosti 1 kg. Dosažitelné rychlosti byly do 10 m/sec a 3.6 °/sec (cca 150 operací za minutu), a zrychlení až 100 m/sec² (přetížení 10G) a 1,2 rad/sec². [1]



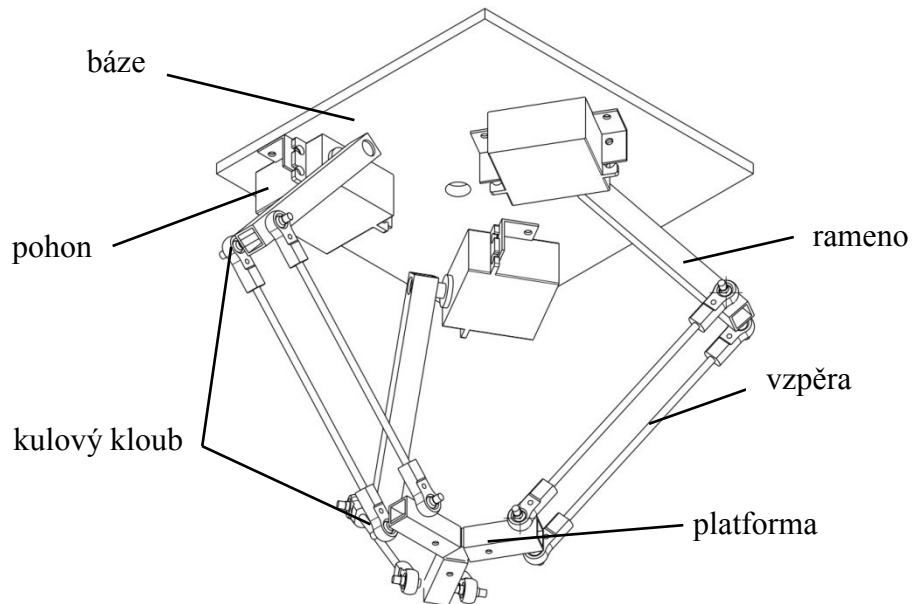
obr. 1.6 Robot IRB 340 Flex Picker



obr. 1.7 Řídicí systém S4C

1.1.2 Popis struktury delta robotu

Delta robot se skládá z řady základních dílů (obr. 1.8). Na obrázku je robot se třemi stupni volnosti (translační), ale některé vyráběné delta roboty jsou ještě vybaveny dodatečnými stupni volnosti (rotační), které zajišťují rotaci efektoru a umožňují až šest stupňů volnosti.



obr. 1.8 Schéma paralelní struktury delta

- **Báze:** je základní rám robotu, ke kterému jsou pevně přimontovány jednotlivé pohybové jednotky. V rámu robotu jsou také ukryty vnitřní senzorké systémy, ventily vakuového systému, atd. Báze je konstruována s co největší tuhostí, aby eliminovala případné vznikající vibrace od pohybu ramen, protože se báze neúčastní pohybu robotu, nezvyšuje tak momenty setrvačnosti.
- **Pohony:** nejčastějším typem pohonu je rotační elektro motor s převodovkou osazen brzdou a snímačem natočení. Ale také se u delta struktur hojně využívá lineárních pohonů elektrických nebo hydraulických.
- **Vzpěry a ramena:** tyto dvě části uzavřeného řetězce se aktivně účastní pohybu, proto jsou konstruovány s ohledem na co nejnižší momenty setrvačnosti, a zároveň musí být dostatečně tuhé a pevné. Rozlišujeme dva základní typy vzpěr, s proměnou délkou (mění vzdálenost mezi klouby) a vzpěry s neproměnnou délkou (mění se poloha kloubů).
- **Klouby:** u robotů s paralelní strukturou je potřeba k dosažení pohybu v prostoru tří stupňů volnosti v kloubu, k tomu se používají různé typy sférických (kulových) kloubů.
- **Platforma:** je nosná část robotu, kde se spojují vzpěry a která uzavírá řetězec. K platformě je také upevněn koncový efektor, nejčastěji vakuová přísavka, ale také čelistový efektor.

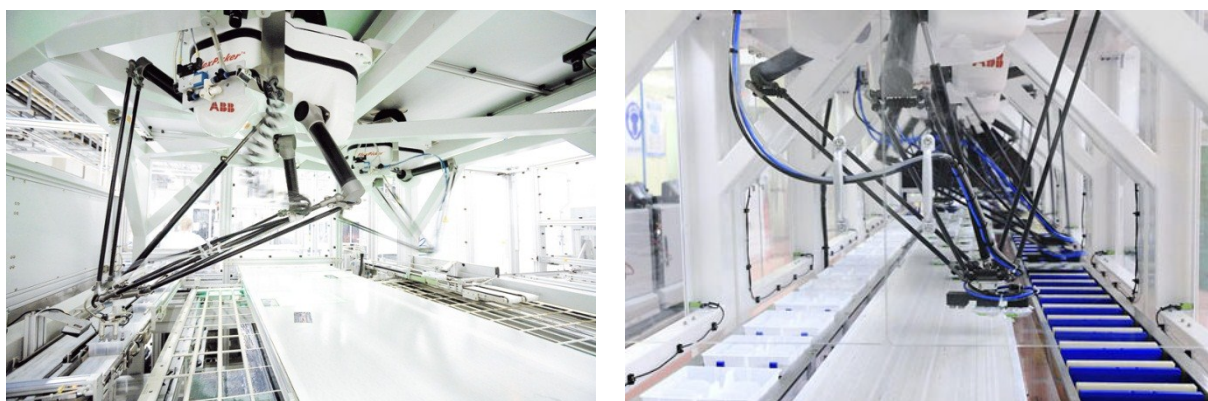
1.1.3 Použití PR s delta strukturou

Uplatnění delta robotu v průmyslu je všude tam, kde se manipuluje s poměrně lehkými objekty manipulace (OM) a je vyžadována velmi vysoká rychlost polohování. Největší uplatnění nachází v potravinářském průmyslu ale také v montáži, elektronice, lékařství atd. (obr. 1.9). Většina PR s delta strukturou je vybavena kamerovým subsystémem pro rozpoznávání polohy a orientace OM na dopravníku, díky tomuto subsystému můžeme třídit, přemisťovat, kontrolovat, orientovat atd. jakékoliv drobné produkty.



obr. 1.9 Použití delta robotu v průmyslu

Delta robot se také velmi hojně instaluje v sérii, aby se ještě více zefektivnila produkce výroby. V tomto uspořádání například první robot nachystá OM na kupku a druhý přemístí celou kupku pomocí speciálního efektoru, k tomuto účelu vyrobenému, na předem definovanou pozici. Takto se zkrátí manipulační dráhy, jelikož první robot pracuje pouze na krátké vzdálenosti (v rámci šířky dopravníku) a druhý pouze přemísťuje na delší vzdálenosti. Další využití série je při větším množství OM na dopravníku a jeho vyšší rychlosti, jeden robot by tak nestíhal manipulovat s OM a musel by například zastavovat dopravník.



obr. 1.10 Serie více delta robotů

Další možnost zvýšení efektivity je pomocí více prvkového efektoru (obr. 1.11), robot tak sebere najednou více OM a poté provede jedno umístění všech sebraných OM najednou. Pomocí tohoto efektoru se výrazně zkracují manipulační dráhy a tím pádem i čas.



obr. 1.11 Více prvkový efektor fy Schmalz [4]

1.1.4 Zařízení využívající delta strukturu

Existují i aplikace, u kterých je využita struktura typu delta. Například firma RENISHAW s.r.o. používá tuto strukturu u svých 3D měřicích zařízení na drobné výrobky. (obr. 1.12).

Pracovní prostor: 300x300 mm, výška 150 mm

Nejistota porovnání: 0,002 mm

Max. hmotnost obrobku: 25 kg



obr. 1.12 3D měřicí zařízení Equator od fy RENISHAW [5]

Toto zařízení pracuje na principu porovnávání, to znamená, že odchylky výroby jsou porovnávány s naučeným výrobkem nikoliv s 3D virtuálním modelem. Obsluha tak musí prvně najít a ručně změřit vhodný výrobek, který je dále použit jako výchozí a k němu se měří odchylky všech dalších výrobků.

Další neobvyklé použití delta struktury je od firmy SeeMeCNC, kde používají tuto strukturu u 3D tiskárny (obr. 1.13). U této konstrukce jsou použity k polohování platformy pohybové šrouby, které jsou umístěny ve sloupech zařízení. Změnou výšky kloubu k bázi tak dochází ke změně polohy koncového bodu v prostoru.

Pracovní plocha: 230x250 mm, výška 330 mm

Tiskový materiál: ABS, PLA od 1,75 mm

Cena: 1 499 USD



obr. 1.13 3D tiskárna fy SeeMeCNC [6]

Holandská firma CODIAN robotics [7] má ve svém portfoliu kromě klasických tříramenných delta robotu také roboty se dvěma rameny (obr. 1.14), který má pouze dva stupně volnosti a jeden stupeň volnosti volitelný pro rotaci efektoru. Takovýto robot může pracovat pouze v rovině, ale u některých aplikací to zcela dostačuje. Výhodou je však možnost manipulace s produkty do hmotnosti až 40 kg.

Nosnost: 40 kg

Opakovatelná přesnost 0,3 mm

Max. počet cyklu: 50/min



obr. 1.14 2D robot fy Codian

Také firma FESTO vyrábí robot s delta strukturou (obr. 1.15), tento robot se odlišuje od ostatních tím, že má lineární pohonné jednotky poháněné rotačním elektromotorem. V nabídce firmy jsou čtyři velikostní varianty od průměru pracovního prostoru 450 mm až do průměru 1200 mm.

Nosnost: až 5 kg

Opakovatelná přesnost 0,1 mm

Max. počet cyklu: 150/min

Max. rychlost 7000 mm/s



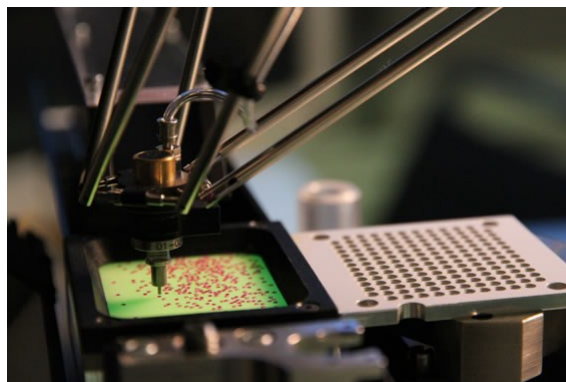
obr. 1.15 Robot EXPT fy Festo [8]

Firma ASIRIL má v nabídce řadu miniaturních delta robotů, nejmenší z nich (obr. 1.16) má rozměry pouze 153x153x221 mm. K pohonu ramen jsou použity stejnosměrné elektrické motory firmy Maxon řady EC-i 40 o výkonu 50 W.

Nosnost: 20 g

Opakovatelná přesnost 2,5 μm

Max. počet cyklu: 120/min



obr. 1.16 Mini robot fy AsyriL [9]

Další využití delta struktura našla u velkých CNC obráběcích strojů v leteckém, automobilním a těžkém průmyslu. Například firma LINKS vyrábí stacionární obráběcí stroje s pracovním prostorem délky 3m a výškou až 0,6m (obr. 1.17).

Elektrické vřeteno o výkonu: 29kW

Otáčky vřetene: až 18 000/min

Max. rychlost: X,Y 125 m/min, Z 45 m/min

Max. zrychlení: X,Y 30 m/s, Z 10 m/s

Přesnost: 10 μm

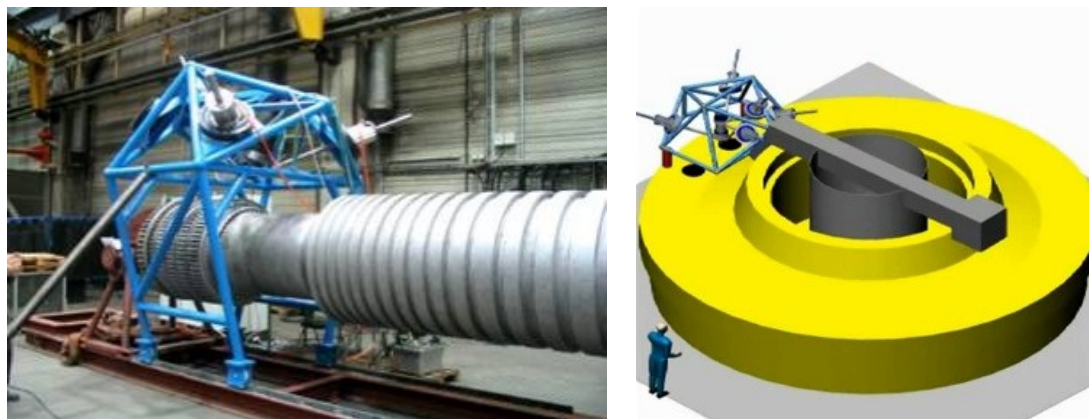


obr. 1.17 CNC obráběcí centrum Links - EXE700 [10]

Existují také mobilní obráběcí stroje s touto strukturou, které se dají jednoduše přemísťovat a odpadá tak například potřeba transportu nadměrných dílů. Firmy METROM vyrábí mobilní zařízení s frézovací hlavicí (obr. 1.18).

Průměr obrobku: s použitím sloupu až 10m

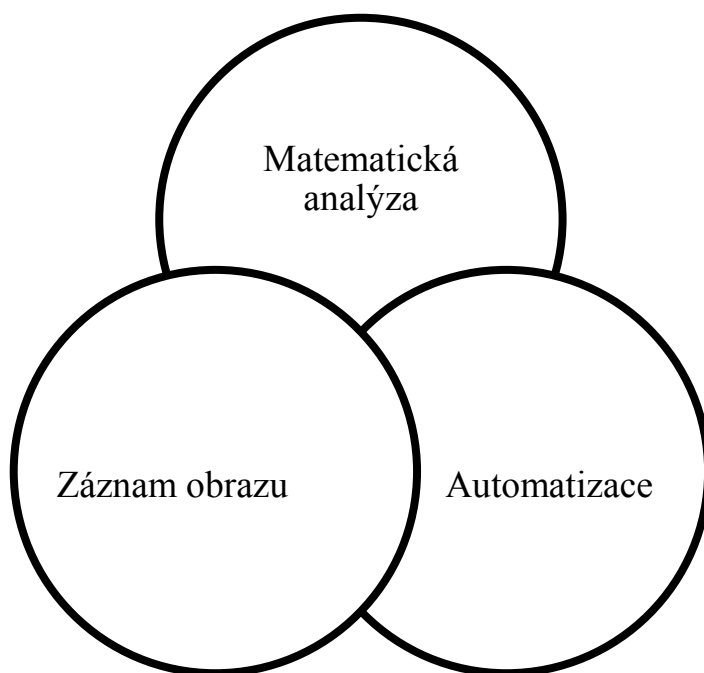
Přesnost: 40 μm



obr. 1.18 Mobilní obráběcí centrum Metrom [11]

2 Strojové vidění

Strojové vidění je novým, dynamicky se rozvíjejícím oborem senzoriky, který spojuje moderní prostředky snímání a digitalizace obrazu se zpracováním na výpočetní technice. Činnost systému strojového vidění je velmi podobná tomu, jak na stejném úkolu pracuje člověk. Stejně jako lidské oko zachytí kamera obraz zkoumaného předmětu, odešle informaci do řídicího systému (mozku), který podle předepsaného algoritmu vyhodnotí obraz a provede akci na základě vyhodnocení.



obr. 2.1 Průnikem tří základních oborů vzniká strojové vidění

Strojové vidění také podporuje dvě základní a nevyhnutelné konkurenční strategie každého výrobního podniku: snižování nákladů a zvyšování kvality výroby.

Hlavní ekonomický přínos strojového vidění:

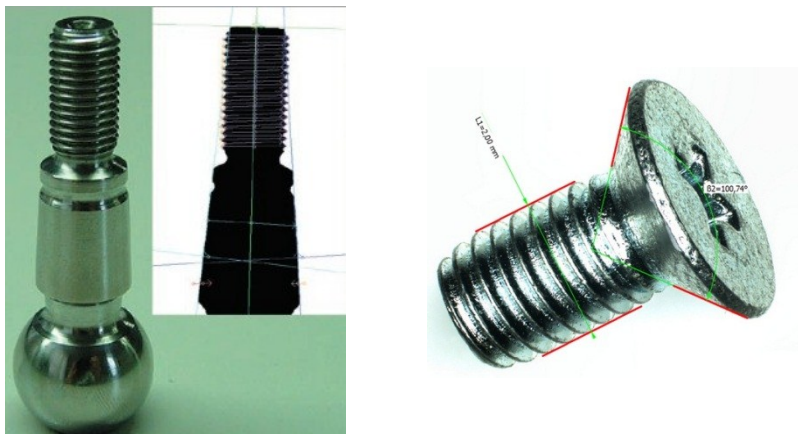
- **Rychlost:** pořízení obrazu je velmi rychlé (až 100 snímku/s)
- **Univerzálnost:** na jednom snímku může být vyhodnocováno několik kontrol a měření
- **Automatizace:** přímé spojení se strojem, linkou nebo řídicím systémem
- **Flexibilita:** jednoduchá změna nebo úprava vyhodnocovacích algoritmů
- **Bezdotykové měření:** vyhodnocení obrazu nepotřebuje přikládat konvenční měřidla

2.1 Využití strojového vidění

Využití strojového vidění v praxi je celá řada, od nejjednodušších systému, které zjišťují pouze přítomnost přes složitější čtečky kódu až po komplexní řešení pro kontrolu tolerancí, drsností povrchu atd. [12]

- Kontrola přítomnosti materiálu
- Počítání, kontrola úplnosti
- Navigace robotu a manipulátoru
- Kontrola sestavení, montáže a zabalení
- Čtení čárových, QR kódů a textů
- Identifikace barev
- Kontrola povrchu potisku
- Testování funkčnosti
- Měření a kontrola tolerancí
- Nalezení vad opracování

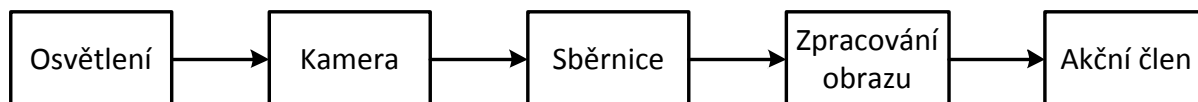
U měření a kontrola tolerancí je základní otázkou dosažitelná přesnost měření. Pro tvářené díly jsou obvyklé tolerance rozměrů v setinách milimetru, pro obráběné součásti to často bývají mikrometry. Parametrem kamery určujícím přesnost měření je rozlišení (počet obrazových bodů, pixelů) jejího obrazového čipu. Moderní softwary navíc umí využívat i tzv. subpixelové rozlišení, které umožní stanovit polohu hrany obrazu součásti s rozlišením na přibližně jednu dvacetinu pixelu. Rozlišení 5 μm (v odpovídajícím zorném poli) je v současné době požadavek splnitelný i běžnou kamerou s čipem o rozlišení 640 \times 480 pixelů. [13]



obr. 2.2 Příklad měření tolerancí

2.2 Hlavní prvky subsystému strojového vidění

Subsystém strojového vidění se skládá z několika jednotlivých komponent (obr. 2.3), které jsou nedílnou součástí celého subsystému.


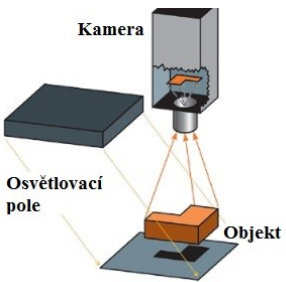

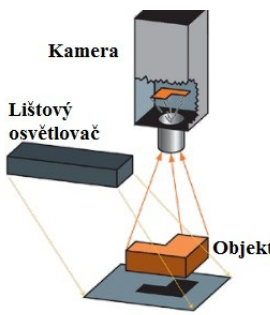


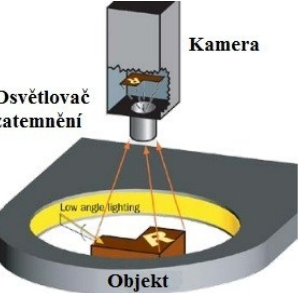
obr. 2.3 Schéma strojového vidění

2.2.1 Osvětlení

Osvětlení je mnohdy dost přehlížena a přitom velmi důležitá část strojového vidění, kvalita osvětlení snímané scény má velmi zásadní vliv na spolehlivost celého systému, a proto by nemělo být podceňováno. Na trhu existuje celá řada typů a způsobů osvětlení snímané scény, proto jsou navrhovány osvětlovače přímo pro konkrétní aplikace.

V Tabulce (Tab. 2.1) jsou uvedeny základní typy osvětlovačů, jejich příklady provedení, způsoby instalace a nejčastější aplikace pro použití. Osvětlovače jsou vybrány z nabídky firmy Microscan, ale jejich konstrukce a způsob osvětlení se nijak zásadně neliší od osvětlovačů konkurence.

Typ	Příklad provedení	Způsob instalace	Použití
Plošné			Osvětlovací pole jsou tvořena LED a jsou určeny pro osvětlení větších ploch. Tento způsob nasvětlení se používá při inspekcích etiket a plochých matných povrchů.
Lišty			Osvětlovací lišty jsou tvořeny LED páskem. Nejčastější použití je při inspekcích matných předmětů menších rozměrů.

Kruhové (prstencové)			Prstencové osvětlovače tvoří LED uspořádané do tvaru mezikruží, v jehož středu je objektiv kamery. Tento osvětlení je levné řešení pro jednoduché aplikace s matným povrchem.
Dóm (kopulový)			Zdroj světla je prstenec LED, který zespodu osvětluje kopulovité zrcadlo, a to odráží paprsky rovnoměrně na analyzovanou plochu. Použití pro inspekci lesklých tvarovaných povrchů.
Zadní světlo			Výsledný obraz je vysoce kontrastní a znázorňuje pouze obrysy objektu. Protisvětla se používají při kontrolách rozměrů a tolerancí.
Zatměné			Zatměnění je zdroj směrovaného světla. Použití tohoto osvětlovače je v analýzách gravírovaných a laserem vypálených nápisů, povrchových vad a výstupků.
Difuzní			Difuzní osvětlovače jsou zdroje vysoce rozptýleného světla využívající difuzor v kombinaci s rozptylovými polopropustnými zrcadly. Použití u lesklých kovových ploch a válcových ploch.

tab. 2.1 Typy osvětlovačů fy MICROSCAN [14]

2.2.2 Kamera

V dnešní době je možné zdroje záznamu obrazu strojového vidění rozdělit do tří základních skupin. Znaky a typické způsoby použití těchto skupin se dnes velmi překrývají a s rozvojem oboru se jednotlivé kategorie sblíží. [15]

- Kamerové senzory (vision sensor)
- Inteligentní kamery (smart camera)
- PC systémy (PC vision)

Kamerový senzor	Kompaktnost, zjednodušený HW, omezené SW nástroje, omezené I/O, omezené komunikační možnosti, nižší cena.
Inteligentní kamera	Kompaktnost, výkonný mikroprocesor, univerzální SW, více I/O, vyšší komunikační možnosti, široké použití, vyšší cena.
PC systém	Modularita, možnost více kamer, výkonný HW, možnosti rozšíření, univerzální SW, široké možnosti použití, vyšší cena.

tab. 2.2 Charakteristické znaky kategorií strojového vidění

Kamerové senzory:

Jsou konstrukčně nejjednodušší, z čehož vyplývá i cenově nejdostupnější systém strojového vidění. Celý systém včetně kamery a osvětlení bývá integrován do jednoho těla, mají velmi omezené možnosti programování, počet vstupů a výstupů je omezen nejčastěji na spoušť, výstup dobrý/špatný kus. Kamerové senzory jsou určeny pro jednoduché aplikace např. zjišťování přítomnosti, orientace, počítání objektu.



obr. 2.4 Kamerové senzory

Intelligentní kamery:

Mezi hlavní rozdíly odlišující inteligentní kamery od kamerových senzorů je použití výkonnějších procesorů, které zvládnou provádět složitější druhy analýz a také širší komunikační možnosti, více I/O signálu pro spolupráci s periferiemi, časté provedení se závitem pro výběr vhodného objektivu. Další zásadní změnu představuje programování inteligentní kamery, které se provádí v dodaném software na externím PC. Nejčastější aplikace pro inteligentní kamery jsou např. měření rozměrů a tolerancí, vzdálenosti, detekce defektů, určení pozice, analýza barev a kontrastů atd. Počet inteligentních kamer na trhu stále roste a je to nejpoužívanější typ kamer určených ke strojovému vidění.



obr. 2.5 Intelligentní kamery

PC systémy:









Pro PC systémy je obvyklé použití osobního počítače se standardním operačním systémem jako vyhodnocovací jednotky, další výhodou je, že k této jednotce může být připojeno několik kamer najednou. PC systémy byly u počátku rozvoje strojového vidění, ale dnes již ustupují inteligentním kamerám. Odpadá tak nutnost používat komerční PC operační systémy, které nejsou pro zpracování obrazu tak vhodné. Hlavním polem působnosti PC systému jsou, ale pořád úlohy vyžadující zpracovávat obraz z několika kamer.



obr. 2.6 PC systemové kamery

2.2.3 Sběrnice

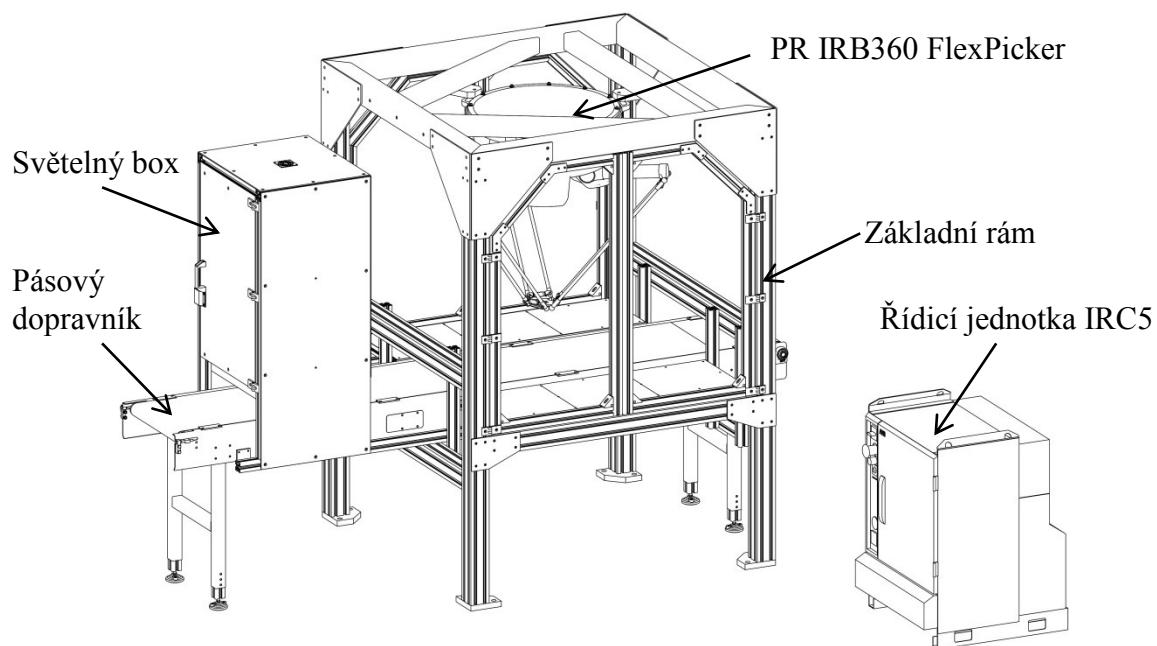
Pod pojmem sběrnice je obecně označována soustava vodičů, která umožňuje přenos signálu mezi jednotlivými částmi systému. Naprostá většina systému strojového vidění obsahuje digitální kamery, které snímanou scénu převádějí na digitální data, tyto data jsou poté pomocí sběrnice přenášena do vyhodnocovací jednotky. Existuje celá řada průmyslových sběrnic určených pro přenos obrazových dat s rozdílnou datovou propustností, složitosti instalace, podpory více kamer atd. Nejčastěji používané sběrnice a jejich parametry jsou uvedeny v tabulce (tab. 2.3). [16]

Název sběrnice	FireWire	GiGE	USB 3.0	Camera Link
Datová propustnost	80 MB/s	125 MB/s	440 MB/s	680 MB/s
Max. délka kabelu	4,5 m	100 m	3 m	10 m
Zátěž procesoru	Nízká	Střední	Nízká	Střední
Oblíbenost	Klesající	Vysoká	Vysoká	Malá
Složitost integrace	Střední	Nízká	Nízká	Vysoká
Napájení po sběrnici	45 W	15,4 W	4,5 W	-
Podpora více kamer	Výborná	Dobrá	Výborná	Ucházející
Celková náročnost	Střední	Střední	Nízká	Vysoká
Název protokolu	IIDCDCAM	GiGE Vision	USB3 Vision	Camera Link
Logo sběrnice				
Konektor				

tab. 2.3 Nejčastěji používané typy sběrnic a jejich parametry

3 Pracoviště s ABB IRB360 FlexPicker

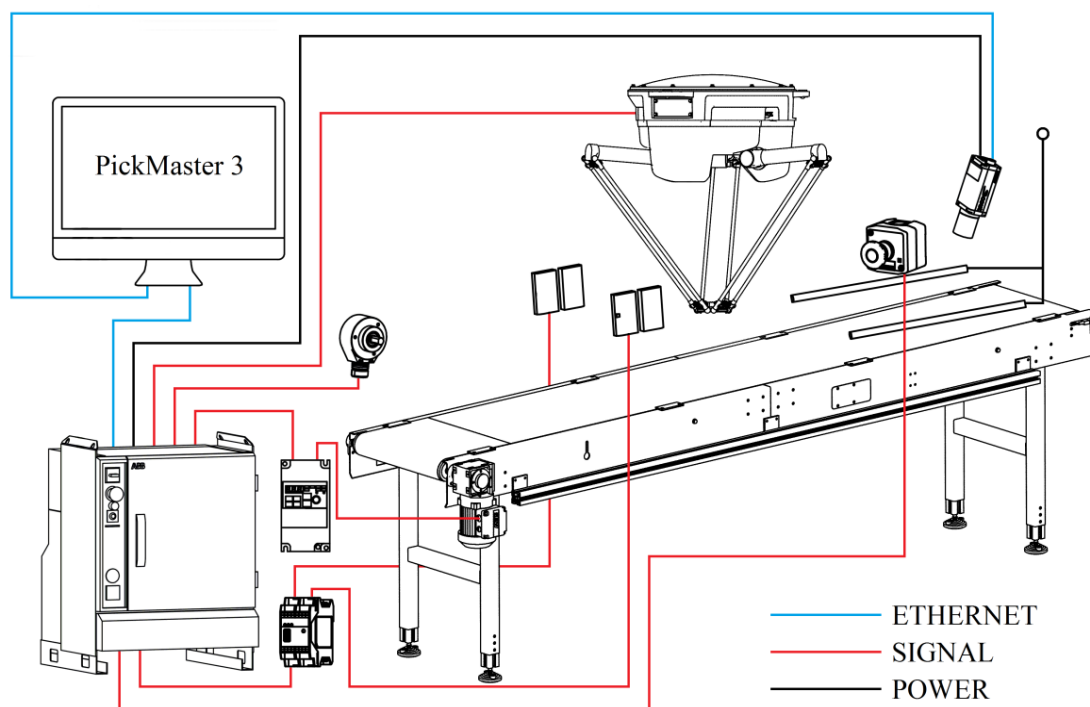
Na obrázku (obr 3.1) je znázorněno a popsáno základní dispoziční schéma pracoviště.



obr. 3.1 Dispoziční schéma pracoviště

3.1 Schéma pracoviště

Schéma na obrázku (obr. 3.2) znázorňuje základní datové a silové propojení jednotlivých komponent na pracovišti v LCR.



obr. 3.2 Schéma pracoviště na LCR

3.2 Stroje a zařízení na pracovišti

3.2.1 Robot IRB360 FlexPicker

Robot IRB360 FlexPicker je průmyslový robot s paralelní kinematickou strukturou typu delta určený pro manipulaci s drobnými OM. Společnost ABB již celosvětově instalovalo více než 2000 delta robotů a je v pozici lídra na poli manipulačních a obalových technologií.

Rodina IRB 360 nyní obsahuje varianty s užitečným zatížením 1 kg, 3 kg, 6 kg a 8 kg a s dosahem 800 mm, 1 130 mm a 1 600 mm, což znamená, že robot IRB 360 najde uplatnění pro širokou škálu aplikací. Díky vynikajícímu řízení pohybu, krátkým časům cyklu a vysoké přesnosti může IRB 360 pracovat vysokou rychlostí v úzkých nebo širokých prostorech, a to s velmi malými tolerancemi. [17]



obr. 3.3 Průmyslový robot IRB360 FlexPicker

Na pracovišti je použit robot IRB360-3/1130 se základními parametry z tabulky (tab. 3.1).

Nosnost	3 kg
Průměr pracovního prostoru	1130 mm
Počet os	$\frac{3}{4}$
Opakovatelná přesnost robotu	0,1 mm
Integrovaný zdroj signálu	12 signálu 50 V, 250 mA
Integrovaný zdroj vakua	Přetlak max 7 bar / podtlak max 0,75 bar
Provozní teplota okolí	0 °C až 45 °C
Hmotnost	120 kg
Napájení	3x 200 – 600 VAC, 50 – 60 Hz
Spotřeba energie při typickém cyklu (1 kg)	0,477 kW

tab. 3.1 Základní parametry robotu IRB360-3/1130 [18]

3.2.2 Řídicí systém IRC5

Řídicí systém IRC5 je již pátou generací řídicích systémů společnosti ABB, je postaven na procesoru Pentium® CPU od společnosti Intel a dále je vybaven bezpečnostním PLC ABB AC 500. Součástí jednotky je i ruční ovladač s dotykovým displejem FlexPendant.



obr. 3.4 Řídicí systém IRC5 a ruční ovladač FlexPendant

Základní parametry řídicího systému IRC5 jsou popsány v tabulce (tab. 3.2) a parametry ručního ovladače FlexPendant v tabulce (tab. 3.3)

Vstupy/výstupy	až 12 000 signálů
Digitální	24 V DC
Analogové	2x 0 – 10 V, 3x ± 10 V, 1x 4 – 10 mA
Připojení	Ethernet 10/100 Mbits, RS 232, 422
Dopravníkový encoder	až 6 kanálů
Integrované PLC	AC 500
Provozní teplota okolí	0 °C až 45 °C
Rozměry V x Š x H	970 x 725 x 710 mm
Hmotnost	150 kg
Napájecí napětí	3x 200 – 600 V AC, 50 – 60 Hz

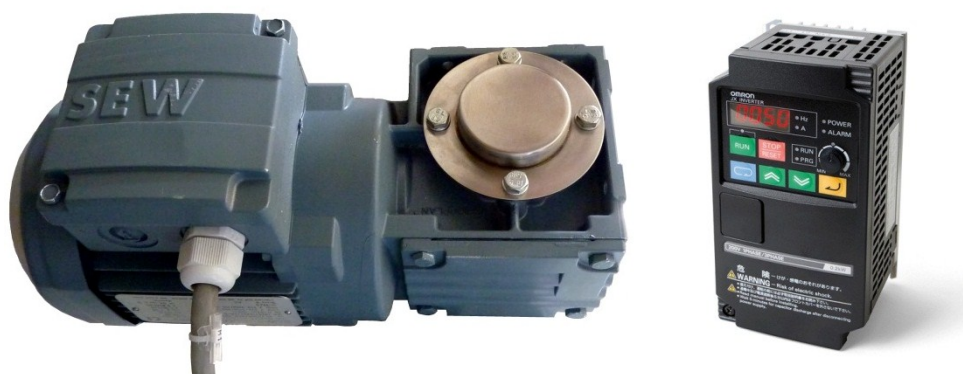
tab. 3.2 Základní parametry řídicího systému IRC5 [19]

Hmotnost	1 kg
FlexPendant	Barevný dotykový displej
	Joystick
	Havarijní STOP tlačítko
	USB datový vstup

tab. 3.3 Základní parametry FlexPendantu [19]

3.2.3 Pásový dopravník

Pásový dopravník je zakázkově vyráběn firmou MSV SYSTEMS CZ s.r.o. Hlavní parametry dopravníku jsou šířka 450 mm a délka pásu 3 030 mm. K pohonu dopravníku slouží spiroidní převodový elektromotor vyráběný firmou SEW EURODRIVE s označením WA20/T DR63M4/TH, základní parametry pohonu jsou popsány v tabulce (tab. 3.4). K řízení rychlosti pohonu je použit frekvenční měnič s modulací PWM s označením JX AB002 od firmy OMRON, jeho základní parametry jsou v tabulce (tab. 3.5).



obr. 3.5 Spiroidní pohon WA20/T a frekvenční měnič JX AB002

Výkon	0,18 kW
Krouticí moment	19 Nm
Převodový poměr	19,5
Napájení	220-240 Δ / 380-415 Y
Jmenovitý proud	0,87 A

tab. 3.4 Základní parametry pohonu WA20/T DR63M4/TH [20]

Napájení	1 x 230 VAC
Připojitelný výkon motoru	0,2 kW
Jmenovitý výstupní proud	1,4 A
Max. frekvence	400 Hz
Metoda řízení	Pulzní šířková modulace PWM

tab. 3.5 Základní parametry frekvenčního měniče JX AB002 [21]

Pásový dopravník je také vybaven inkrementálním snímačem od firmy SICK s označením DFS60B-S4PA10000 určený ke sledování pohybu dopravníku (conveyor tracking).



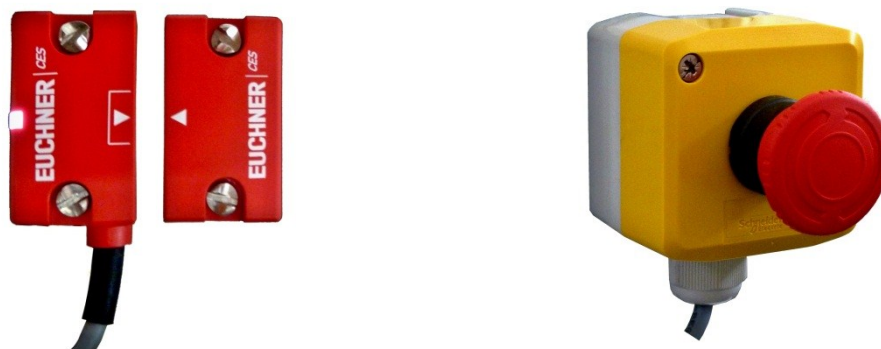
obr. 3.6 Enkodér DFS60B-S4PA10000

Vstupní napětí	5 – 32 V
Počet pulzů na otáčku	10 000
Stupeň krytí	IP65
Připojení	Průmyslový konektor M23 – 12 pin
Typ čidla	Inkrementální enkodér

tab. 3.6 Základní parametry enkodéru DFS60B-S4PA10000 [22]

3.2.4 Bezpečnostní prvky

Na rámech dveří pracoviště jsou instalovány bezpečnostní senzory s označením CES–A–LLN od firmy Euchner. Tyto senzory jsou připojeny do vyhodnocovací jednotky CES – AZ umístěné uvnitř řídicí jednotky IC5. Sensory CES jsou založeny na technologii bezkontaktních unikátně kódovaných transpondérů a dle EN ISO 13849-1 dosahují nejvyšší bezpečnostní kategorie 4/PL_e. Dále je pracoviště vybaveno centrálním STOP tlačítkem od firmy Schneider Electronic umístěném na rámu.



obr. 3.7 Bezpečnostní prvky Euchner a centrální stop tlačítko

3.2.5 Kamera

Kamerový subsystém instalovaný na pracovišti se skládá z dvou základních komponent, průmyslové kamery s označením scA1300 - 32gc od firmy Basler a objektivu s označením HF9HA - 1B od japonského výrobce Fujifilm.



obr. 3.8 Průmyslová kamera a objektiv

Základní parametry průmyslové kamery jsou popsány v tabulce (tab. 3.7) a parametry průmyslového objektivu v tabulce (tab. 3.8).

Obrazový snímač	Sony CCD 1/3inch, barevný
Formát videosignálu	Mono 8, Bayer BG 8, BG 16, BG 12 packed, YUV 4:2:2 Packed, YUV 4:2:2
Max. rozlišení	1294 x 964 pix, 1,3Mpix
Velikost pixelu H x V	3,75 μm x 3,75 μm
I/O	2/4 optoizolované
Komunikace	GigE Vision
Napájení	12 – 24 V
Spotřeba	3,5 W
Typ závitu pro objektiv	C-mount
Krytí	IP30

tab. 3.7 Základní parametry průmyslové kamery Basler scA1300 - 32gc [23]

Ohnisková vzdálenost	9 mm
Rozsah clony	F 1,4 – 16
Nastavení clony	Ruční s aretací
Nastavení ostření	Ruční s aretací
Závit objektivu	C-mount
Min. vzdálenost	100 mm
Rozměry	\varnothing 28,5 x 35 mm

tab. 3.8 Základní parametry objektivu Fujinon HF9HA - 1B [24]

3.2.6 Osvětlení

K osvětlení snímané scény je použito 8 lištových osvětlovačů s bílým světlem tvořeným LED pásky, tyto pásky jsou umístěné do hliníkových lišt a uzavřené mléčnými difuzory. Na obrázku (obr. 3.9) jsou zobrazeny vyráběné lištové osvětlovače a v tabulce (tab. 3.9) jsou vypsány jejich základní parametry.



obr. 3.9 Lištové osvětlovač

Barva světla	6 000 – 6 500 K
Počet LED	60/m
Vyzařovací úhel	120°
Napájení	12 V
Spotřeba	14,4 W/m
Stupeň krytí	IP20

tab. 3.9 Základní parametry lištového osvětlovače

3.2.7 Přísavkový efektor

Robot je osazen aktivním vakuovým efektem s vyměnitelnou přísavkou od firmy SMC. Tento typ efektoru je velmi často využíván u robotu s delta strukturou díky svým malým rozměrům a nízké hmotnosti. Tlakový vzduch je do ejektoru robotu přiváděn z externího kompresoru.

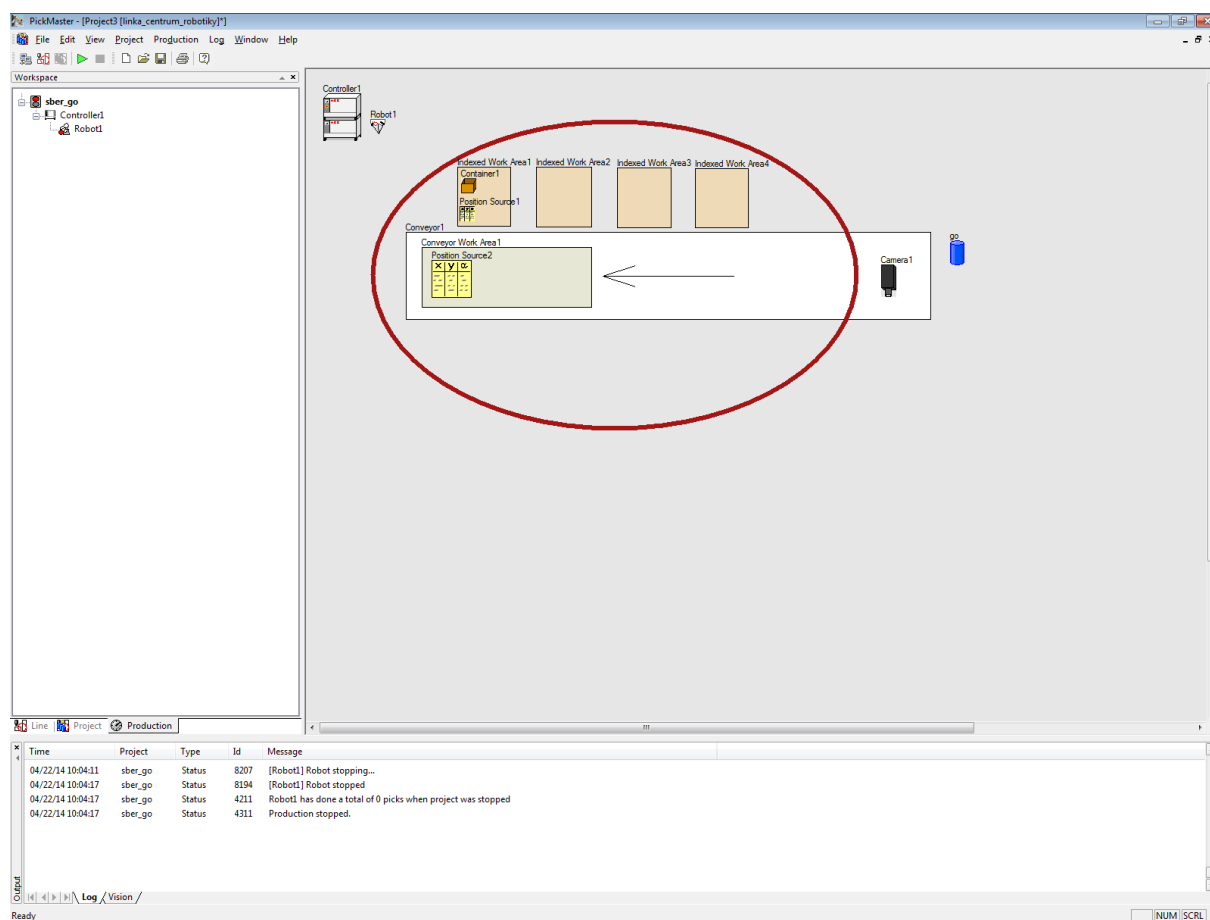


obr. 3.10 Vakuová přísavka

3.2.8 PickMaster3

PickMaster je nástrojem pro vedení robotů v balícím (Pick&Place) procesu vyvíjený společností ABB. Je to počítačový softwarový produkt, který používá srozumitelné grafické rozhraní pro konfiguraci výkonných aplikací, ve kterých může podél dopravních pásů současně pracovat až osm robotů.

PickMaster 3 obsahuje vyspělou techniku strojového vidění a má napevno integrovanou schopnost sledování pásu (*Conveyor tracking*). Integrovaný systém strojového vidění je také otevřený vůči komunikaci s jakýmkoli externími senzory (koncové snímače, světelné závory, atd.) [25]



obr. 3.11 Základní prostředí SW PickMaster

Hlavní výhody systému:

- Jednoduché a srozumitelné rozhraní
- Off-line konfigurace
- Možnost vytvoření jakéhokoliv pracoviště (linky)

4 Aplikace na pracovišti s ABB IRB360 FlexPicker

Na pracovišti s ABB IRB360 FlexPicker byly vytvořeny, odladěny a otestovány tři výukové aplikace. K těmto aplikacím byly poté vytvořeny podrobné návody (příloha: Návody do cvičení).

Aplikace jsou navrženy od nejjednodušší Pick&Place úlohy, kde se uživatel seznámí se základním ovládáním a práci se SW PickMaster, vytvořením geometrické analýzy atd. až po složitější inspekční úlohu, která navazuje na znalosti z předchozích úloh a řeší vyhodnocení (inspekci) úplnosti balení.

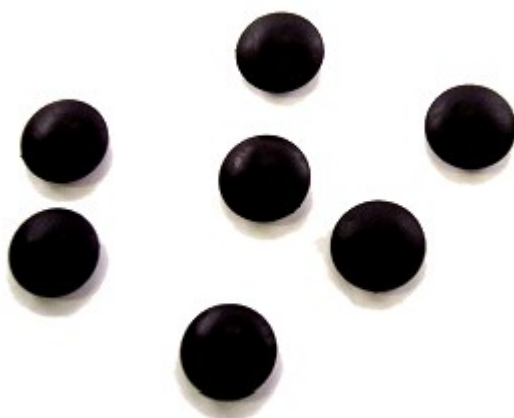
Řešené aplikace:

- **Pick&Place:** jednoduchá aplikace zaměřena pouze na sbírání objektu manipulace a následné umístění do připravených kontejneru. K detekci OM na páse dopravníku je použita základní geometrická analýza obrazu.
- **Třídění podle barvy:** úloha zaměřená na třídění OM podle barvy do připravených kontejneru. K rozpoznávání OM je použit softwarový barevný filtr a následné měření kontrastů jednotlivých OM.
- **Kontrola úplnosti:** jako OM slouží pláta s léky, u kterých je kontrolována úplnost balení, následně jsou pláta roztríděny do příslušných kontejneru podle typu léku a úplnosti. K určení úplnosti je použita inspekční analýza, která na OM zjišťuje, zda na dané pozici lék je nebo není.

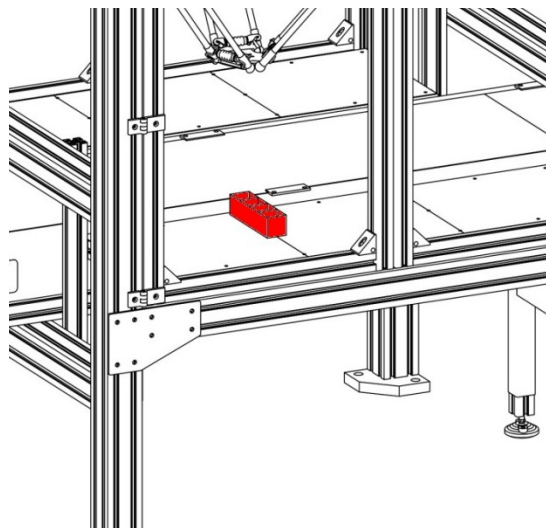
Ke všem úlohám bylo dále vytvořeno uživatelské grafické rozhraní v programu RobotStudio v nástroji ScreenMaker. Toto rozhraní se zobrazuje na ručním ovladači FlexPendant a graficky vykresluje plnění jednotlivých kontejneru.

4.1 Pick&Place

Jedná se o základní aplikaci, pro kterou jsou průmyslové roboty s delta strukturou určeny. Aplikace je zaměřena pouze na sbírání a přemísťování drobných objektů manipulace na předem určenou pozici kontejneru. Jako objekt manipulace u této úlohy slouží hrací kámen GO (obr. 4.1) který je sbírán z dopravníku a ukládán do kontejneru umístěného na pravém pracovním stole dle obrázku (obr. 4.2)



obr. 4.1 Objekt manipulace kameny GO



obr. 4.2 Kontejnery pro umístění OM

K určování polohy OM na páse dopravníku je použit subsystém strojového vidění a následná geometrická analýza obrazu, která pouze přiměřuje naučený model k objektu na páse a podle rozhodovacího kritéria přiřadí objektu příslušný index.

Aplikace je navržena tak, aby uživatel dokázal vše řídit a nastavovat pouze z prostředí SW PickMaster a nemusel tak přepisovat a upravovat jednotlivé řádky RAPID kódu.

Cílem této úlohy je:

- Cílem je seznámení se základním ovládáním a práci se SW PickMastr, vytváření nových modelů a použití geometrické analýzy. Dále se uživatel naučí vytvářet třídící sekvence v RAPID kódu.
- Základní analýza obrazu je pouze geometrická, kdy se porovnává naučený model s objektem na páse dopravníku.
- Po prostudování manuálu by měl uživatel být schopen vytvořit Pick&Place aplikaci pro jeden či více OM s použitím geometrické analýzy obrazu.

4.1.1 RAPID kód k aplikaci Pick&Place

U všech aplikací se uživatel nevyhne úpravě RAPID kódu, musí totiž vytvořit třídící sekvenci (PickPlaceSeq()). Tato sekvence určuje, jak se budou nalezené OM třídit a ukládat do kontejneru. U této aplikace se pracuje pouze s jedním OM a jedním kontejner, proto je třídící sekvence (PickPlaceSeq()) zjednodušena pouze na seber a umístí.

```
PROC PickPlaceSeq()
```

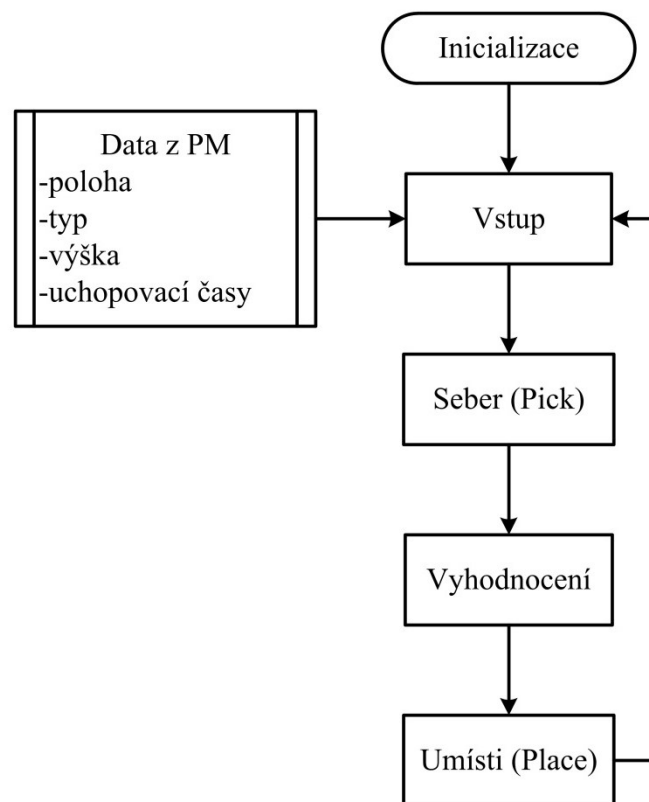
```
    Pick PickIndex {1};
```

```
    Place PlaceIndex {1};
```

```
ENDPROC
```

obr. 4.3 Pick&Place sekvence

Na obrázku (obr. 4.4) je znázorněn vývojový diagram aplikace, kde jsou vyhodnocené data z PM odeslány do řídicí jednotky a podle třídící sekvence jsou OM třízeny.

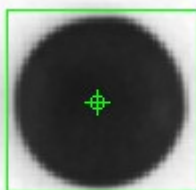


obr. 4.4 Vývojový diagram aplikace Pick&Place

4.1.2 Zpracování obrazu

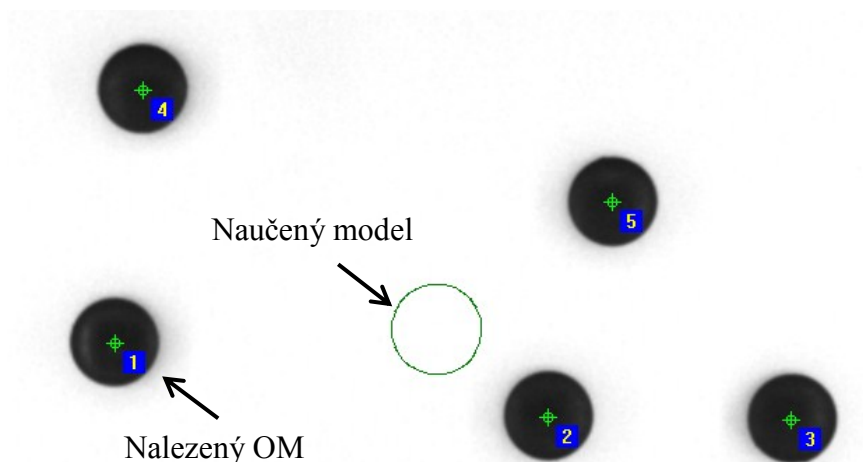
K určení polohy OM je použita základní geometrická analýzy, tato analýza přirovnává naučený model ke všem objektům na páse a podle rozhodovacího kritéria přiřadí objektu příslušný index. S tímto indexem dále pracuje řídicí jednotka, která podle sekvence v RAPID kódu rozhodne co se má s objektem udělat (sebrat – nechat na páse).

Při učení nového objektu (obr 4.5) se musí ručně nastavit region, ve kterém se objekt nachází (zelený obdélník) a bod, na který bude robot najíždět s efektoem (zelený bod).








obr. 4.5 Učení nového objektu

Objekty na páse jsou přirovnávány k naučenému modelu (obr 4.6) a zjišťuje se jejich *score* (*score* je procentuální hodnota nakolik odpovídá objekt na páse modelu), pro správné nalezení OM však musí být splněna podmínka nalezení $Score\ limit < Score$.



obr. 4.6 Porovnávání geometrie

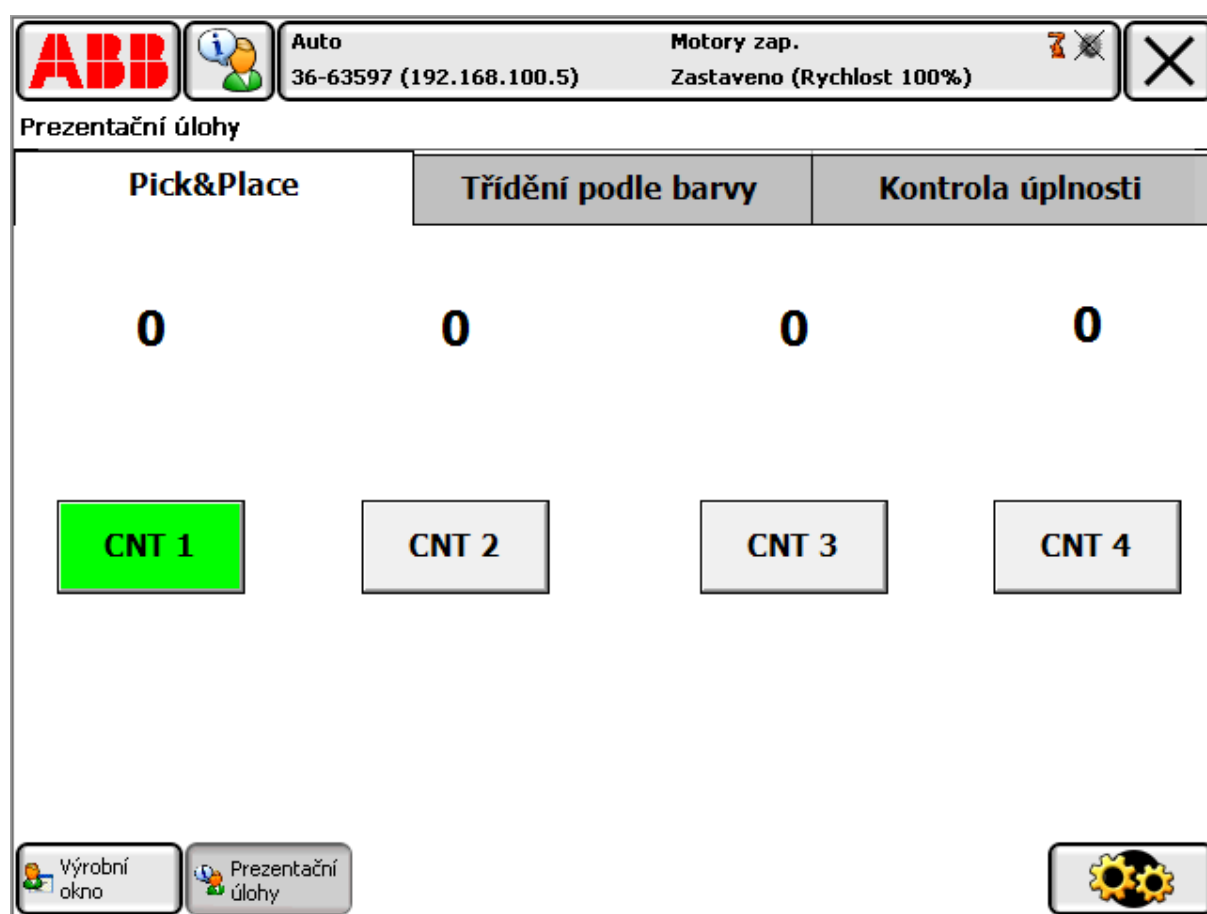
PatMax Result													
Item	Score	X	Y	X img	Y img	z	Angle	xScale	yScale	Contrast	Fit Error	Coverage	Clutter
 1	1.00	-9.8	-69.4	-9.8	-69.4	-	-0.0	1.00	1.00	153.93	0.08	1.00	0.00
 2	1.00	7.7	33.7	7.7	33.7	-	-0.0	1.00	1.00	157.30	0.04	1.00	0.00
 3	1.00	8.4	91.5	8.4	91.5	-	-0.0	1.00	1.00	143.82	0.08	1.00	0.00
 4	1.00	-70.0	-62.7	-70.0	-62.7	-	-0.0	1.00	1.00	141.57	0.07	1.00	0.00
 5	1.00	-43.2	48.9	-43.2	48.9	-	-0.0	1.00	1.00	151.69	0.06	1.00	0.00

obr. 4.7 Výsledky geometrické analýzy

4.1.3 Rozšíření aplikace Pick&place

Dále byla základní aplikace Pick&Place rozšířena o další tři kontejnery (vychází se z nastavení linky), do kterých se ukládají OM a mezi kterými může uživatel libovolně a jednoduše přepínat za chodu programu.





K tomu bylo vytvořeno uživatelské grafické prostředí v nástroji *ScreenMaker* (obr. 4.8) na ručním ovladači *FlexPendant*, kde byly definovány čtyři virtuální tlačítka. Těmto tlačítkům bylo zapotřebí přiřadit virtuální signály pomoci, kterých se v třídící sekvenci rozhoduje, do kterého kontejneru se má OM umístit.



obr. 4.8 Uživatelské grafické rozhraní pro aplikaci Pick&Place

Virtuální signály (*do_CNT_1*, *do_CNT_2*, *do_CNT_3*, *do_CNT_4*) byly vytvořeny jako *digital output* signál a výchozí hodnota signálu byla nastavena na 0 kromě signálu *do_CNT_1*, který byl nastaven na výchozí hodnotu 1 a to z důvodu, aby po spuštění programu byl jako výchozí kontejner nastaven kontejner č.1.

Virtuálním tlačítkům pak bylo nastaveno, aby po kliknutí nastavila vlastnímu signálu 1 a zbylým třem signálům 0. Takto bylo docíleno přepínání signálu, aby byl vždy jen jeden signál roven 1.

Name	Type of Signal	Assigned to Unit	Unit Mapping	Access Level	Default Value	Filter Time Passive (ms)
 do_CNT_1	Digital Output	PPASIM	80	All	1	N/A
 do_CNT_2	Digital Output	PPASIM	79	All	0	N/A
 do_CNT_3	Digital Output	PPASIM	78	All	0	N/A
 do_CNT_4	Digital Output	PPASIM	77	All	0	N/A

obr. 4.9 Vytvořené virtuální signály

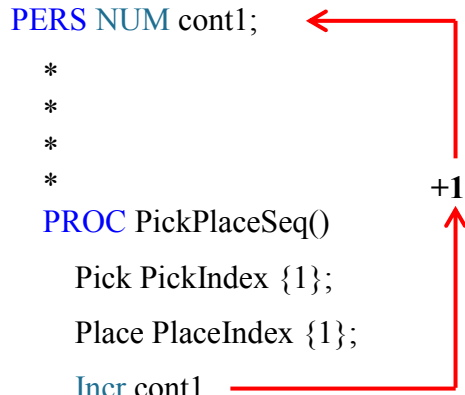
V grafickém rozhraní bylo také vytvořeno počítadlo, které počítá umístění OM do jednotlivých kontejneru. Počítadlo je vytvořeno v RAPID kódu pomocí jednoduchého příkazu *Inrc {název proměnné}*, tento příkaz po každém projetí programu přičte jedničku do vytvořené proměnné, hodnota proměnné se dále odesílá a vypisuje na *FlexPendantu*.

Skladba počítadla v RAPID kódu je naznačena na obrázku (obr 4.10).

```

MODULE PPAEXECUTING
PERS NUM cont1;
*
*
*
*
PROC PickPlaceSeq()
    Pick PickIndex {1};
    Place PlaceIndex {1};
    Inrc cont1
ENDPROC
ENDMODULE

```



obr. 4.10 Skladba RAPID kódu

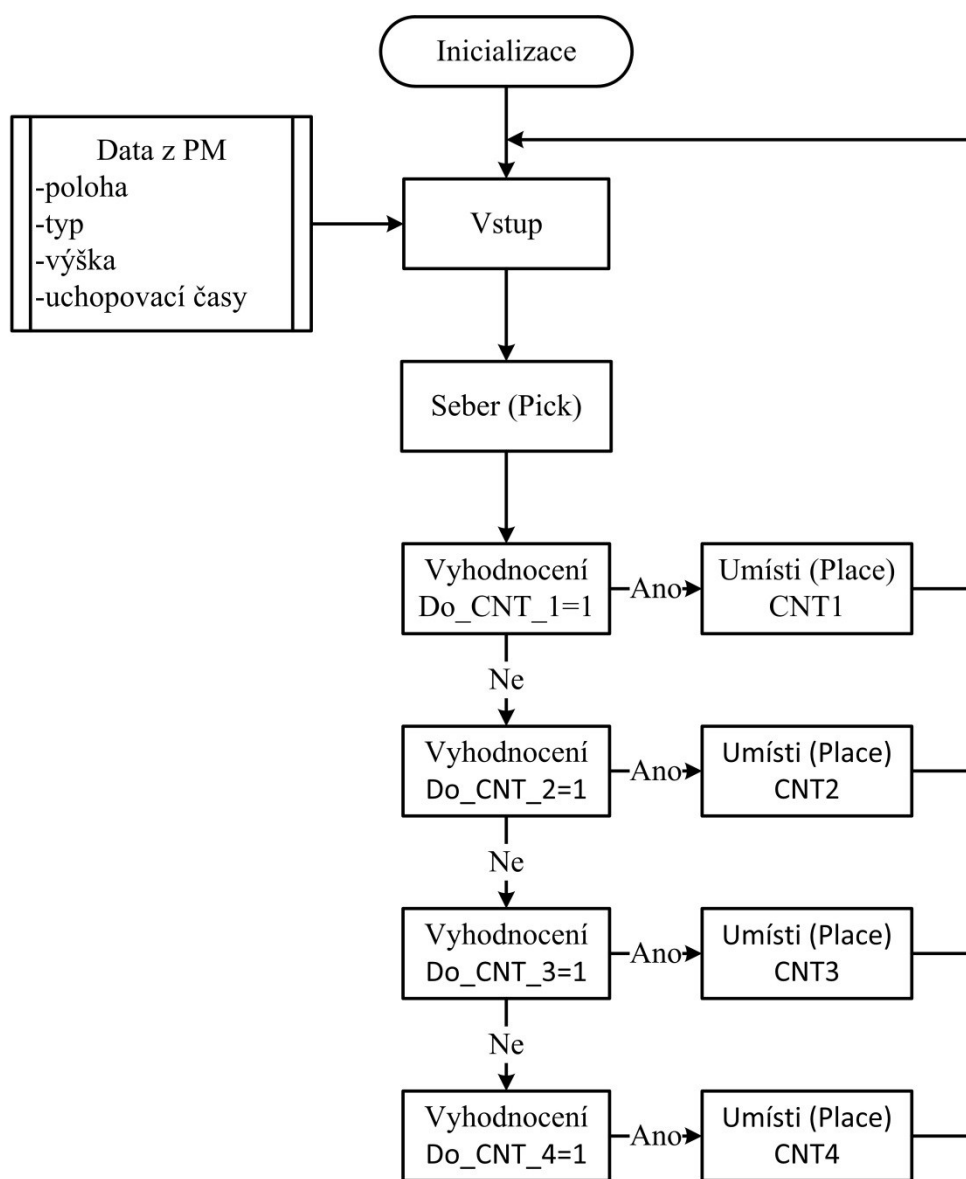
4.1.4 RAPID kód k rozšířené aplikace Pick&Place

K třídění OM do čtyř kontejneru se musí upravit *PickPlaceSeq()*, a to tak že pokud je *PickTarget* = 1 (vždy bude 1, protože aplikace pracuje pouze s jedním OM) a zároveň digital output *do_CNT_1* = 1 bude OM umístěn do kontejneru č.1 (obr. 4.11). V této rutině je také použita funkce *Incr*, která přičítá jedničku k proměnné a slouží jako počítadlo OM.

```
PROC PickPlaceSeq()
  Pick PickIndex {1};
  IF PickTarget.Type=1 AND DOutput (do_CNT_1)=1 THEN
    Place PlaceIndex {1};
    Incr cont1;
  ELSEIF PickTarget.Type=1 AND DOutput (do_CNT_2)=1 THEN
    Place PlaceIndex {2};
    Incr cont2;
  ELSEIF PickTarget.Type=1 AND DOutput (do_CNT_3)=1 THEN
    Place PlaceIndex {3};
    Incr cont3;
  ELSEIF PickTarget.Type=1 AND DOutput (do_CNT_4)=1 THEN
    Place PlaceIndex {4};
    Incr cont4;
  ENDIF
ENDPROC
```

obr. 4.11 Pick&Place sekvence

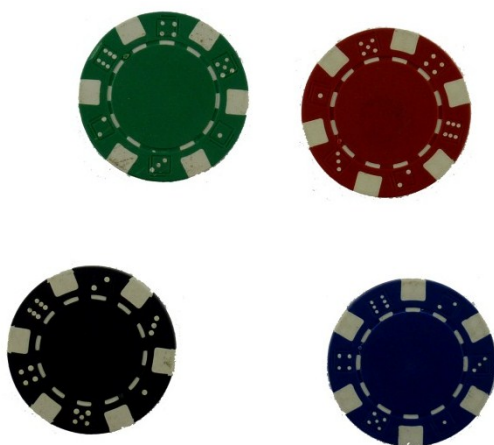
Na obrázku (obr. 4.12) je znázorněn vývojový diagram rozšířené aplikace Pick&Place pro čtyři kontejnery.



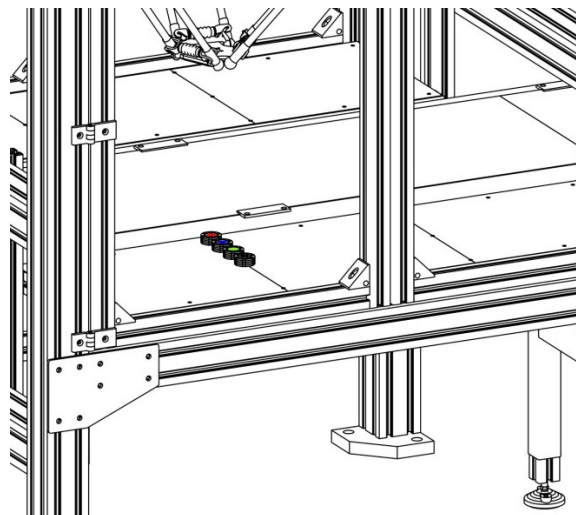
obr. 4.12 Vývojový diagram rozšířené aplikace Pick&Place

4.2 Třídění podle barvy

Tato aplikace je zaměřena na sbírání, třídění OM podle barvy a přemísťování do příslušných kontejneru. Rozpoznávání objektu na páse dopravníku se provádí geometrickou analýzou, která určí polohu a natočení OM, pomocí barevných filtrů a následného měření kontrastu se objekty třídí podle barvy. Jako objekt manipulace v této aplikaci slouží hrací žetony (obr 4.13), které se umísťují do kontejneru na pravém odkládacím stole (obr. 4.14).



obr. 4.13 Objekt manipulace hrací žeton



obr. 4.14 Kontejnery pro umístění OM

Aplikace je navržena tak, aby uživatel dokázal vše řídit a nastavovat pouze z prostředí SW PickMaster a nemusel tak přepisovat a upravovat jednotlivé řádky RAPID kódu.

Cílem této úlohy je:

- Cílem je navázat na předchozí aplikaci Pick&Place, získané znalosti rozšířit o zpracování obrazu pomocí barevných filtrů a následného měření kontrastu.
- Zpracování obrazu je založeno na základní geometrické analýze, která určí polohu a natočení OM, poté se pomocí barevných filtrů a měření kontrastu třídí objekty podle barvy.
- Po prostudování manuálu by měl uživatel být schopen používat barevné filtry k třídění objektu podle barvy a ukládat je do připravených kontejneru.

4.2.1 RAPID kód k aplikaci třídění podle barvy

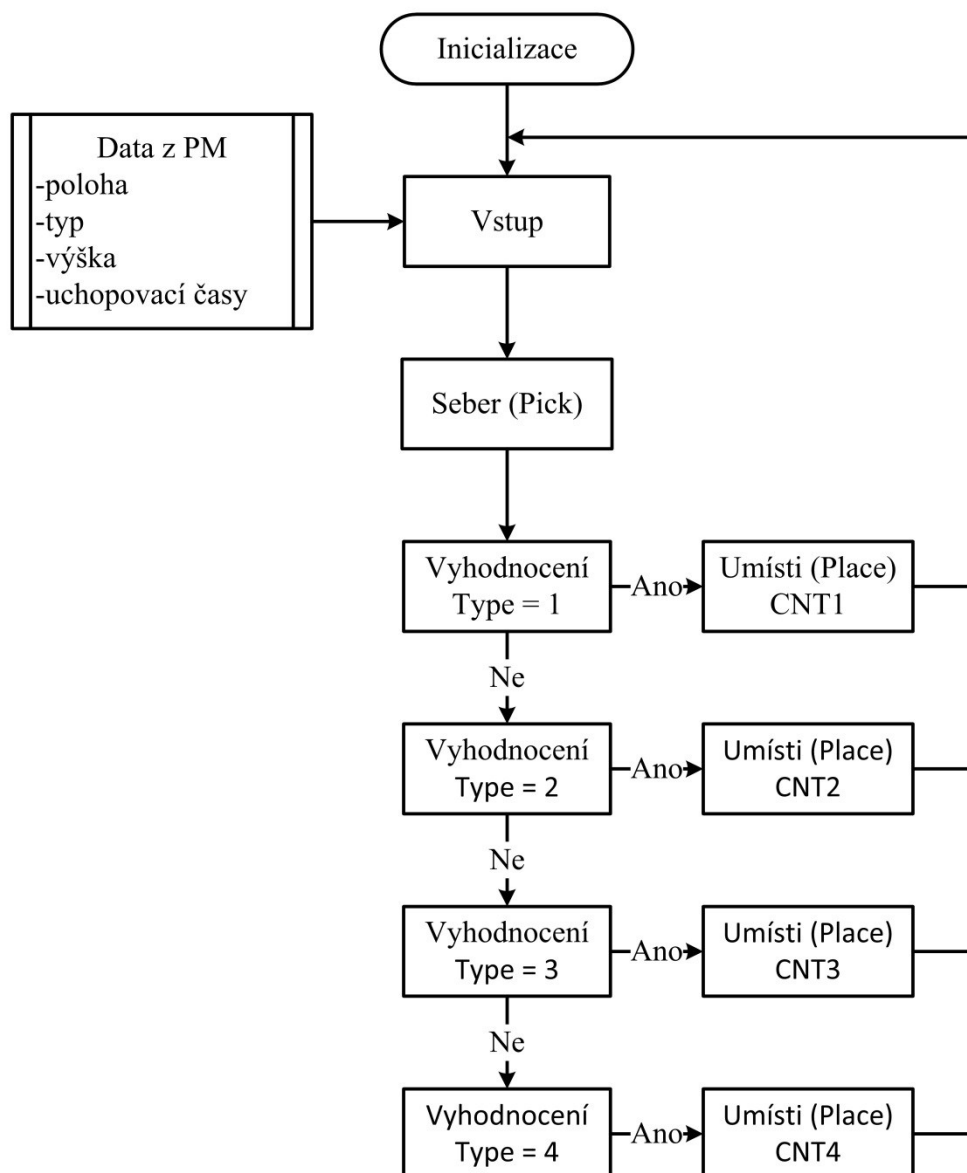
U této aplikace byla vytvořena třídící sekvence (PickPlace Seq()) tak, aby se do připravených kontejneru třídily žetony podle barvy. U třídění se vychází z vyhodnocení obrazu, kdy se objektům přiřadí indexy podle nastavení modelu.

```
PROC PickPlaceSeq()
    Pick PickIndex {1};
    IF PickTarget.Type=1 THEN
        !modry
        Place PlaceIndex {1};
        Incr modry;
    ELSEIF PickTarget.Type=2 THEN
        !cerveny
        Place PlaceIndex {2};
        Incr červený;
    ELSEIF PickTarget.Type=3 THEN
        !zeleny
        Place PlaceIndex {3};
        Incr zelený;
    ELSEIF PickTarget.Type=1 THEN
        !cerny
        Place PlaceIndex {4};
        Incr černý;
    ENDIF
ENDPROC
```

obr. 4.15 Třídící sekvence

V třídící sekvenci (PickPlace Seq()) jsou ještě vytvořené počítadla pomocí příkazu *Incr* a dále jsou u jednotlivých částí napsané poznámky pro lepší orientaci v programu, tyto poznámky se píšou za vykřičník a program je vždy vynechává.

Na obrázku (obr. 4.16) je znázorněn vývojový diagram aplikace třídění podle barvy. Typ objektu je určován na základě vyhodnocení měření kontrastu daného OM.

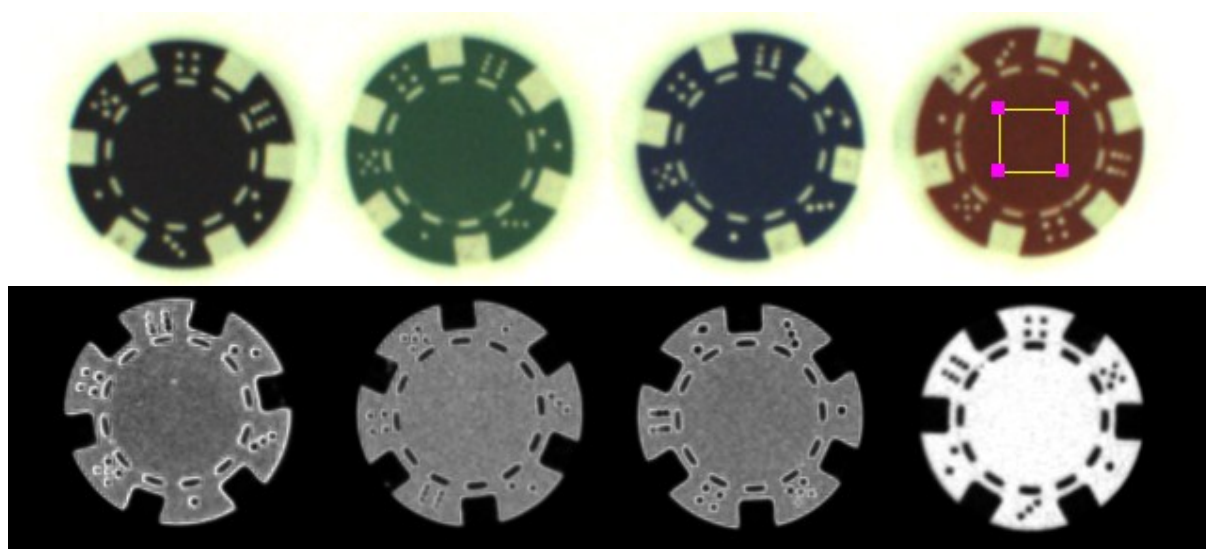


obr. 4.16 Vývojový diagram aplikace třídění podle barvy

4.2.2 Zpracování obrazu

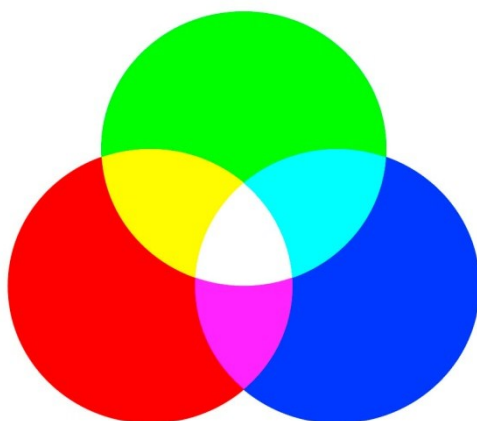
K určení polohy žetonu na páse dopravníku je použita geometrická analýza, která určí pouze polohu a natočení objektu, k rozpoznání barvy musí být použit barevný filtr a následné měření kontrastu.

Barevný filtr způsobí to, že nastavené barvě, přiřadí vysoký kontrast (bílá) a všem ostatním barvám přiřadí nízký kontrast (černá). Protože se každá barva skládá z více odstínů, nevznikne tak pouze černobílý snímek, ale kontrastní snímek v odstínech šedi. Na obrázku (obr.4.17) je vidět snímek před a po použití barevného filtru, kdy se filtrovala červená barva.

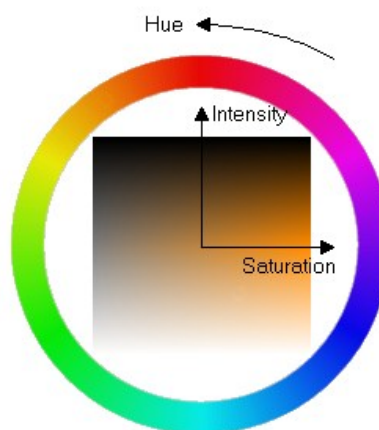


obr. 4.17 Použití barevného filtru (červený)

Software *PickMaster3* používá k vyhodnocení barvy dvě metody, základní RGB (Red, Blue, Green), kdy každá barva vzniká skládáním základních odstínů červené, modré a zelené. (obr. 4.18) Druhá metoda je HSI, (Hue Saturation Intensity), tato metoda nejvíce odpovídá lidskému vnímání barev, kdy se zjišťuje odstín, nasycení a intenzita (obr. 4.19).

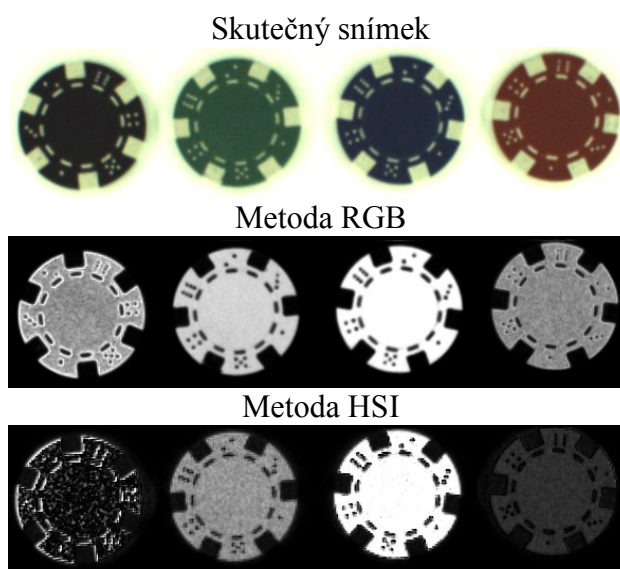


obr. 4.18 Metoda RGB



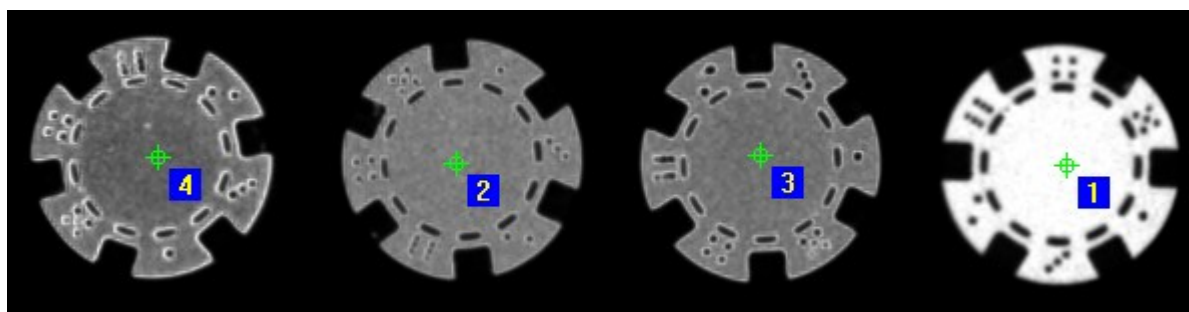
obr. 4.19 Metoda HSI

Na obrázku (obr. 4.20) jsou vidět rozdíly, při použití rozdílných typů metod určování barvy, kdy byl použit filtr na modrou barvu. U metody RGB vzniká poměrně jemný obraz, ale můžou vznikat velmi malé kontrastní rozdíly mezi jednotlivými barvami a subsystém strojového vidění tyto barvy pak chybně rozlišuje. Zatím co u metody HSI vzniká snímek s hrubším rozlišením, ale výsledný snímek má mnohem větší kontrastní rozdíly mezi jednotlivými barvami.



obr. 4.20 Rozdíly mezi metodami filtrování barvy

Vyhodnocení obrazů probíhá tak, že se porovnává kontrast jednotlivých OM s nastaveným minimálním kontrastem. Pokud je splněna podmínka $Contrast\ limit < Contrast$ jsou objektům přiděleny indexy podle nastavení modelu Na obrázku (obr. 4.21 a 4.22) jsou výsledky analýzy, kdy byl použit červený filtr a $Contrast\ limit = 10$.



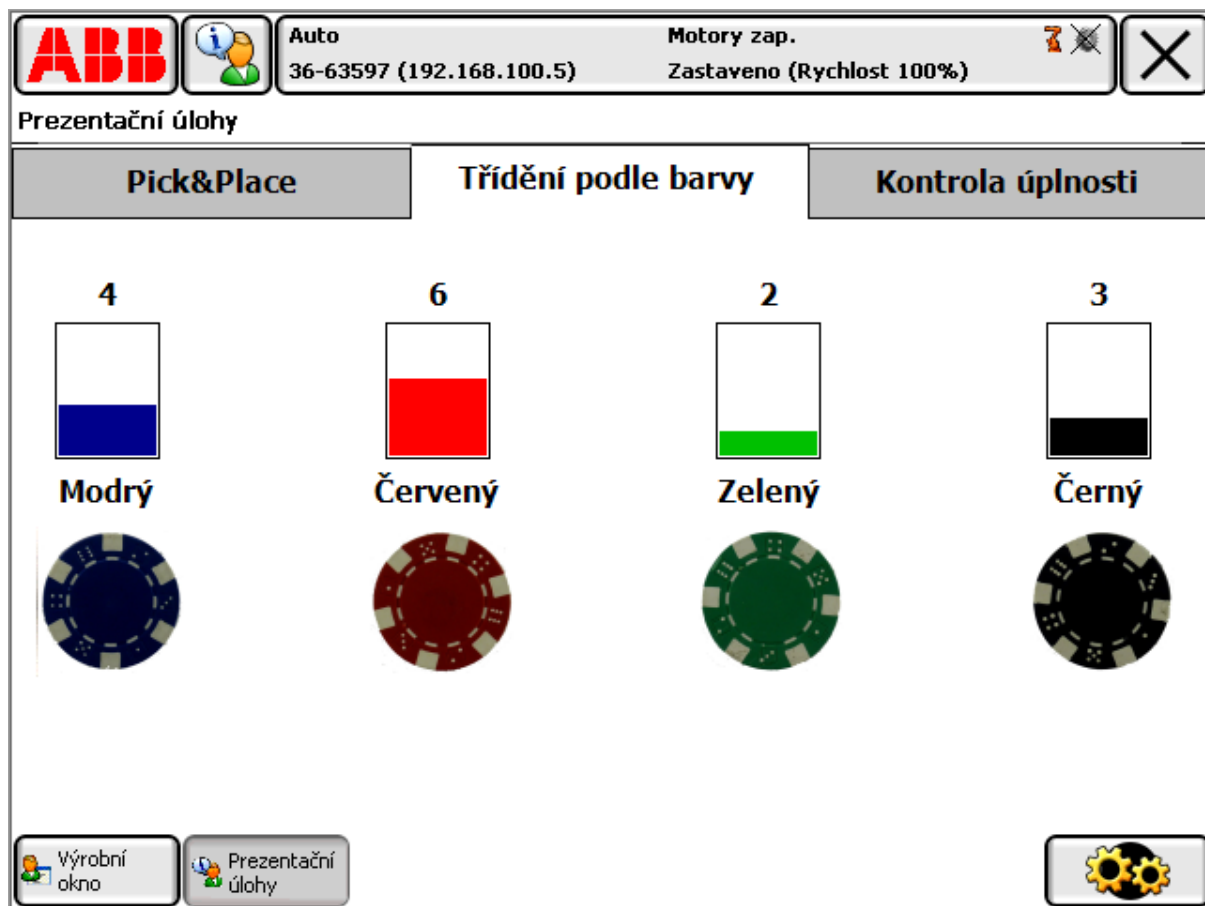
obr. 4.21 Výsledky měření kontrastu

PatMax Result													
Item	Score	X	Y	X img	Y img	z	Angle	xScale	yScale	Contrast	Fit Error	Coverage	Clutter
1	0.95	-50.4	64.3	-50.4	64.3	-	104.4	1.00	1.00	187.64	0.24	0.95	0.04
2	0.87	-50.6	-37.0	-50.6	-37.0	-	-37.4	1.00	1.00	111.24	0.56	0.87	0.01
3	0.86	-51.9	13.4	-51.9	13.4	-	-160.1	1.00	1.00	106.74	0.58	0.86	0.09
4	0.72	-51.8	-86.5	-51.8	-86.5	-	117.7	1.00	1.00	113.48	0.71	0.68	0.26

obr. 4.22 Výsledky měření kontrastu

4.2.3 Rozšíření aplikace třídění podle barvy

Aplikace byla rozšířena o uživatelské grafické rozhraní, které vypisuje naplnění jednotlivých kontejneru (obr. 4.23).



obr. 4.23 Uživatelské grafické rozhraní pro aplikaci třídění podle barvy

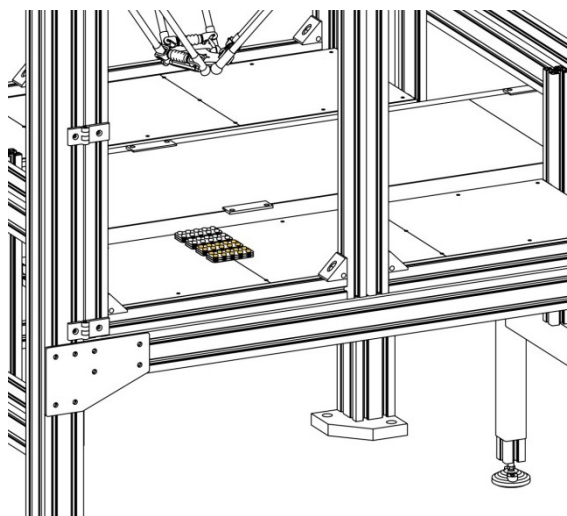
Počítadlo bylo vytvořeno pomocí příkazu *Incr*, který přičítal jedničku do proměnných *modry*, *cerveny*, *zeleny* a *cerny*.

4.3 Kontrola úplnosti

Tato aplikace je zaměřená na inspekci úplnosti balení a následné třídění. Jako objekt manipulace jsou použity pláta s léky, u kterých se kontroluje, zda je na každé pozici obsažena tableta. Pláta se pak třídí do připravených kontejneru podle typu léku a podle úplnosti balení na úplné a neúplné. Aplikace byla vytvořena pro pláta léku pyridoxin (bílé tablety) a riboflavin (oranžové tablety) (obr 4.24). Kontejnery jsou umístěny na pravém odkládacím stole (obr. 4.25).



obr. 4.24 Objekt manipulace



obr. 4.25 Kontejnery pro umístění OM

Aplikace je opět navržena tak, aby uživatel mohl vše řídit a nastavovat z prostředí SW PickMaster. RAPID kód je, ale nutné upravit, kromě PickPlace Seq() sekvence se také musí nastavit uchopovací zóny, protože prostor mezi tabletami není velký a tak efektor musí najíždět na uchopovací bod s větší přesností. Dále je důležité snížit rychlost pro uchopování a umísťování.

Cílem této úlohy je:

- Cílem je navrhnout inspekční aplikaci, která bude kontrolovat úplnost balení. Aplikace navazuje na znalosti z předchozích úloh, které dále rozšiřuje.
- Zpracování obrazu se skládá z geometrické analýzy, použití barevných filtrů a inspekční analýzy, kdy se měří obsahy ploch a jejich kruhovitost.
- Po prostudování manuálu by měl uživatel být schopen vytvořit inspekční aplikaci, které třídí objekty podle nastavených kritérií.

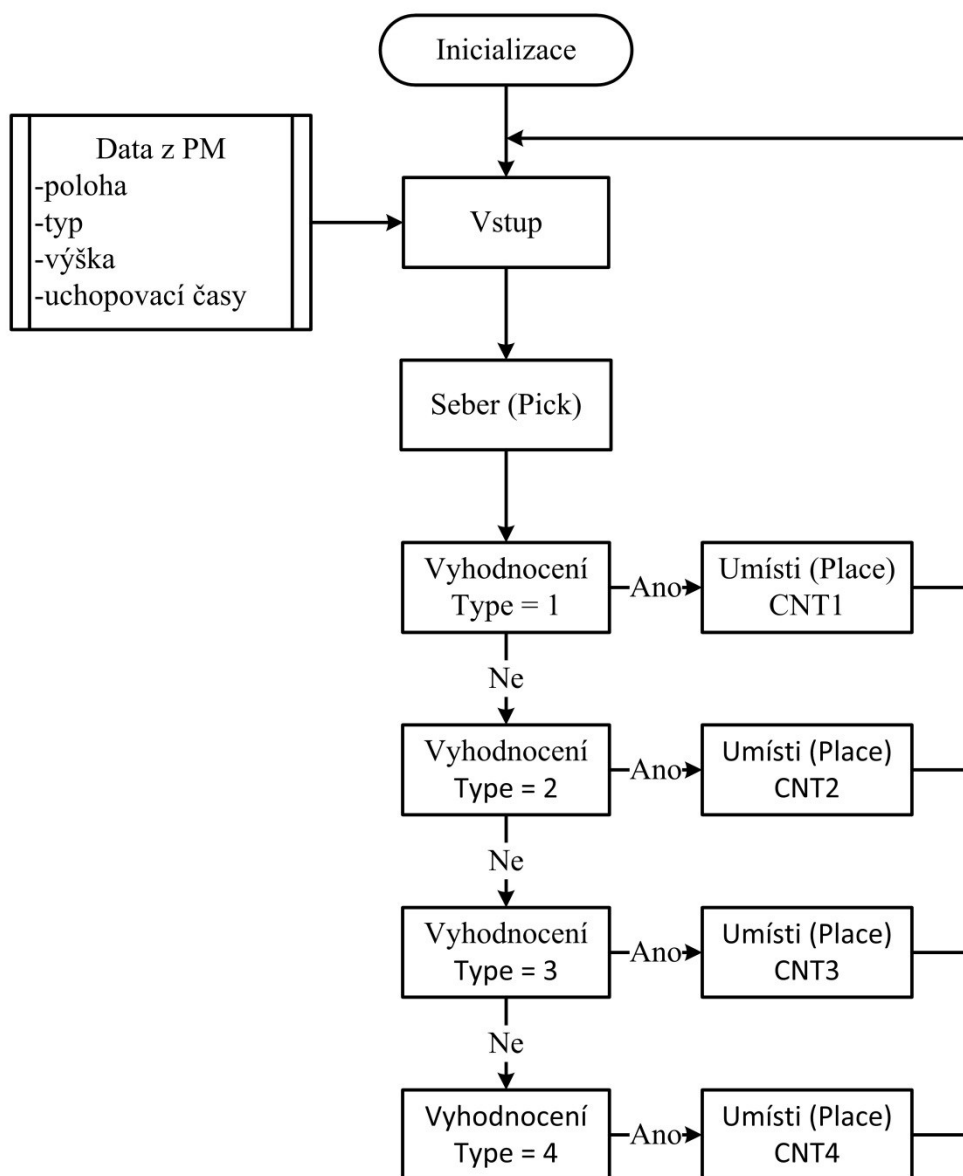
4.3.1 RAPID kód k aplikaci kontrola úplnosti

Třídící sekvence PickPlaceSeq() je opět seber (*Pick*) a podle typu (*Type*) umístí do příslušného kontejneru. Sekvence je také doplněna o poznámky a jednotlivé počítadla OM.

```
PROC PickPlaceSeq()
  Pick PickIndex {1};
  IF PickTarget.Type=1 THEN
    !plne riboflavin
    Place PlaceIndex {1};
    Incr plne_riboflavin;
  ELSEIF PickTarget.Type=2 THEN
    !neuplne riboflavin
    Place PlaceIndex {2};
    Incr neuplne_riboflavin;
  ELSEIF PickTarget.Type=3 THEN
    !plne pyridoxin
    Place PlaceIndex {3};
    Incr plne_pyridoxin;
  ELSEIF PickTarget.Type=4 THEN
    !neuplne pyridoxin
    Place PlaceIndex {4};
    Incr neuplne_pyridoxin;
  ENDIF
ENDPROC
```

obr. 4.26 Třídící sekvence

Na obrázku (obr. 4.27) je znázorněn vývojový diagram aplikace kontrola úplnosti. Jednotlivé *Type Indexy* jsou rozdělovány podle nastavení vyhodnocení obrazu.



obr. 4.27 Vývojový diagram aplikace kontrola úplnosti

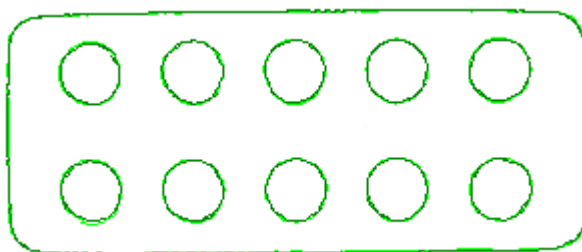
4.3.2 Zpracování obrazu

Ke zpracování obrazu u této aplikace je potřeba provést několik kroků. Na začátku je potřeba určit polohu a natočení pláta na páse dopravníku, dále rozlišit od sebe dva typy léku a nakonec zkontrolovat úplnost balení.

- Určení polohy a orientace OM (geometrická analýza)
- Určení typu léku (barevný filtr + měření kontrastu)
- Určení úplnosti (inspekční analýza)

Určení polohy a orientace:

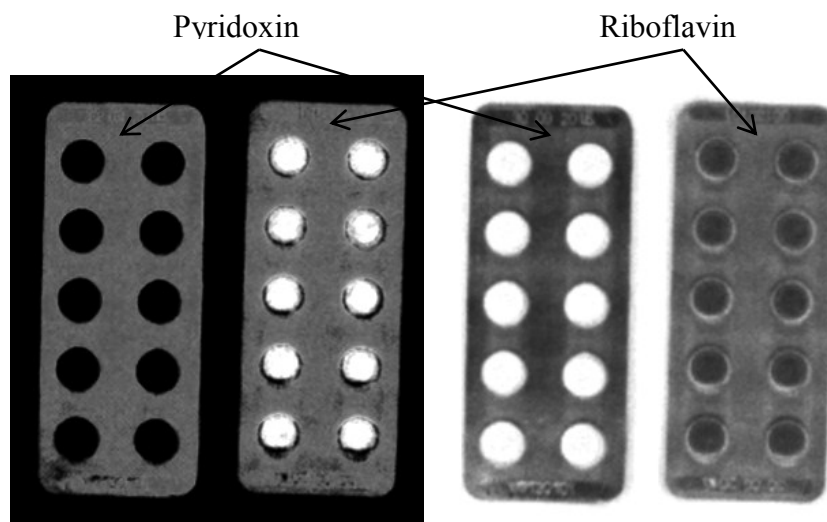
K určení polohy a natočení pláta byla použita geometrická analýza, objekty na páse jsou přirovnávány k modelu, který je vidět na obrázku (obr 4.28)



obr. 4.28 Geometrie pláta s léky

Určení typu léku:

K rozlišování typu léku byl použit barevný filtr a měření kontrastu, barevný filtr byl vždy použit na barvu léku. Na obrázku (obr. 4.29) vlevo je snímek z kamery, kdy je filtrovaná oranžová barva tablety a na obrázku vpravo je filtrovaná bílá barva



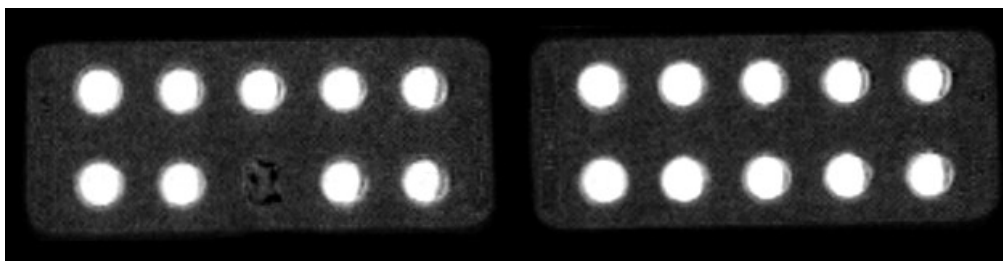
obr. 4.29 Použití barevných filtrů

Určení úplnosti:

K určení úplnosti balení byla použita inspekční analýza, kdy se pomocí barevného filtru vytvořil kontrastní snímek, na kterém se následně hledají plochy, které vyhovují nastavenému obsahu. Vzhledem k nekonstantnímu osvětlení vznikaly na plátech stíny, které byly chybně detekovány, a proto bylo nutné použít i měření kruhovitosti ploch, čímž se vyloučily tyto chyby z inspekce.

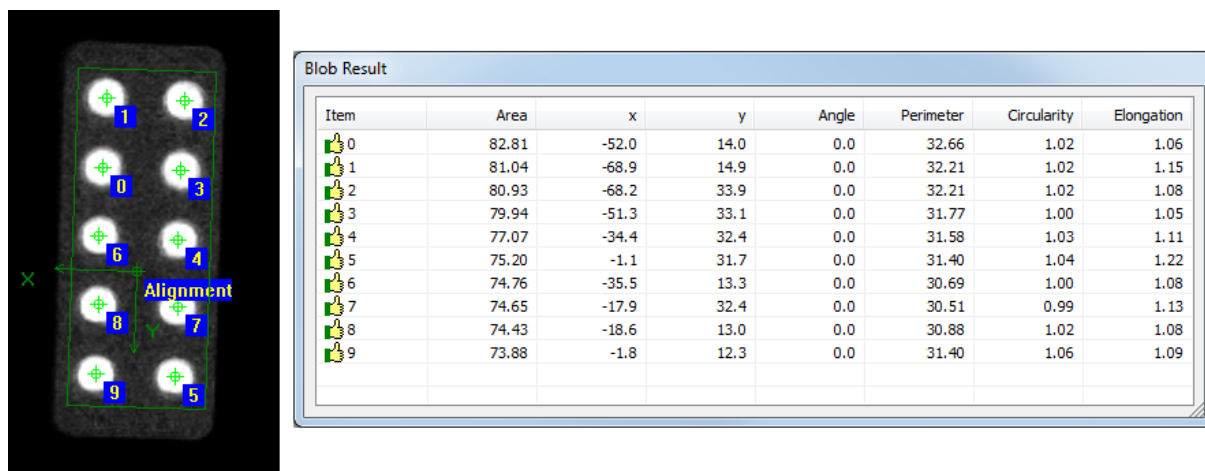
Riboflavin:

U léku riboflavin byl k určení úplnosti balení použit barevný filtr na barvu tablety (oranžová), čímž vzniknul kontrastní snímek, kde pozice s tablety má vysoký kontrast (bílou barvu) a chybějící tablety nízký kontrast (obr. 4.30).



obr. 4.30 Snímek neúplný a úplný

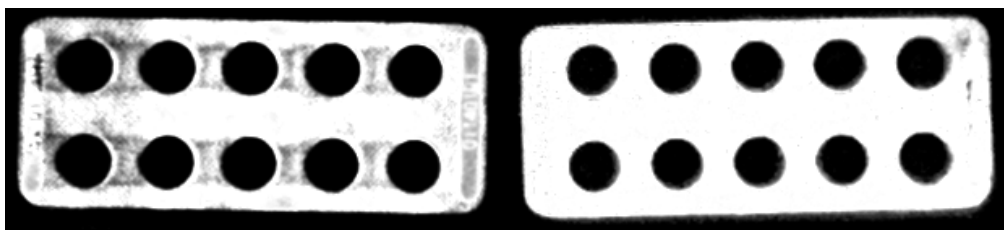
Na kontrastním snímku se dále hledají plochy, které splňují nastavené podmínky. Plochy musí mít vysoký kontrast (bílá barva), obsah mezi 60 a 90 mm² a jejich kruhovitost musí být v rozmezí 0 až 3 kde 0 je dokonalý kruh. Součet všech nalezených ploch pro úplné balení pak musí být 10, pokud tato podmínka není splněná, jedná se o neúplné balení.



obr. 4.31 Výsledky inspekční analýzy

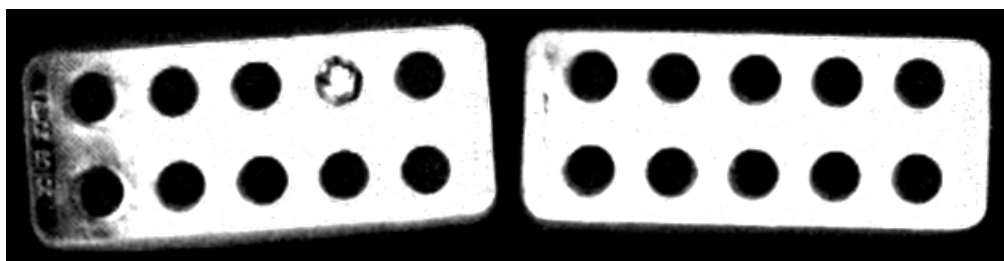
Pyridoxin:

U léku pyridoxin byl na rozdíl od riboflavinu použit barevný filtr ne na tabletu, ale na barvu pláta (stříbrná). Konkrétně byly použity dva filtry na dva odstíny tak, aby vznikl co nejkontrastnější snímek. Rozdíl mezi použitím jednoho a dvou filtrů je patrný z obrázku (obr. 4.32)



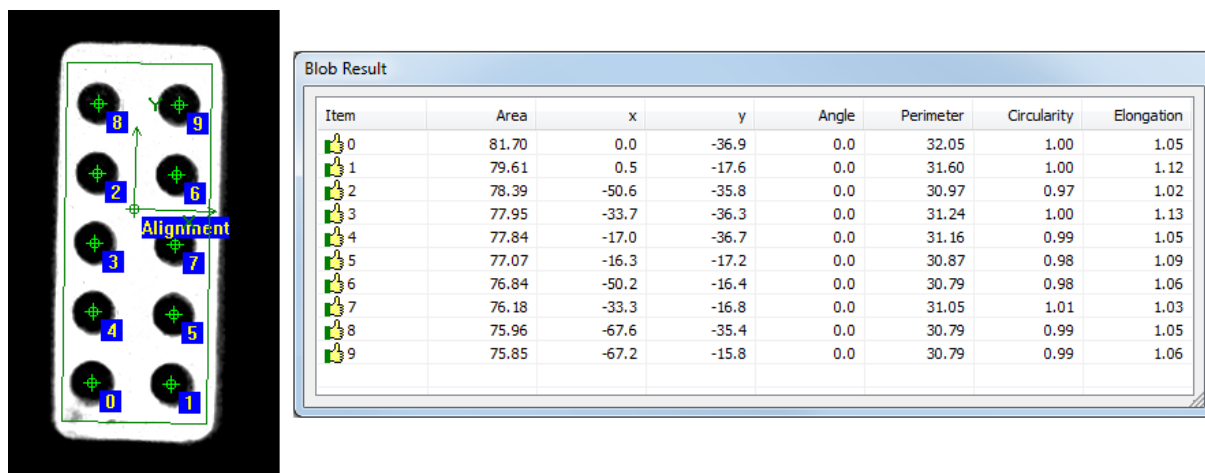
obr. 4.32 Rozdíl mezi použitím jednoho a dvou filtrů

Při odfiltrování pláta tak vznikl kontrastní snímek, na kterém mají pozice s tabletou nízký kontrast (černá barva) a s chybějící tabletou vysoký kontrast (obr. 4.33).



obr. 4.33 Snímek neúplný a úplný

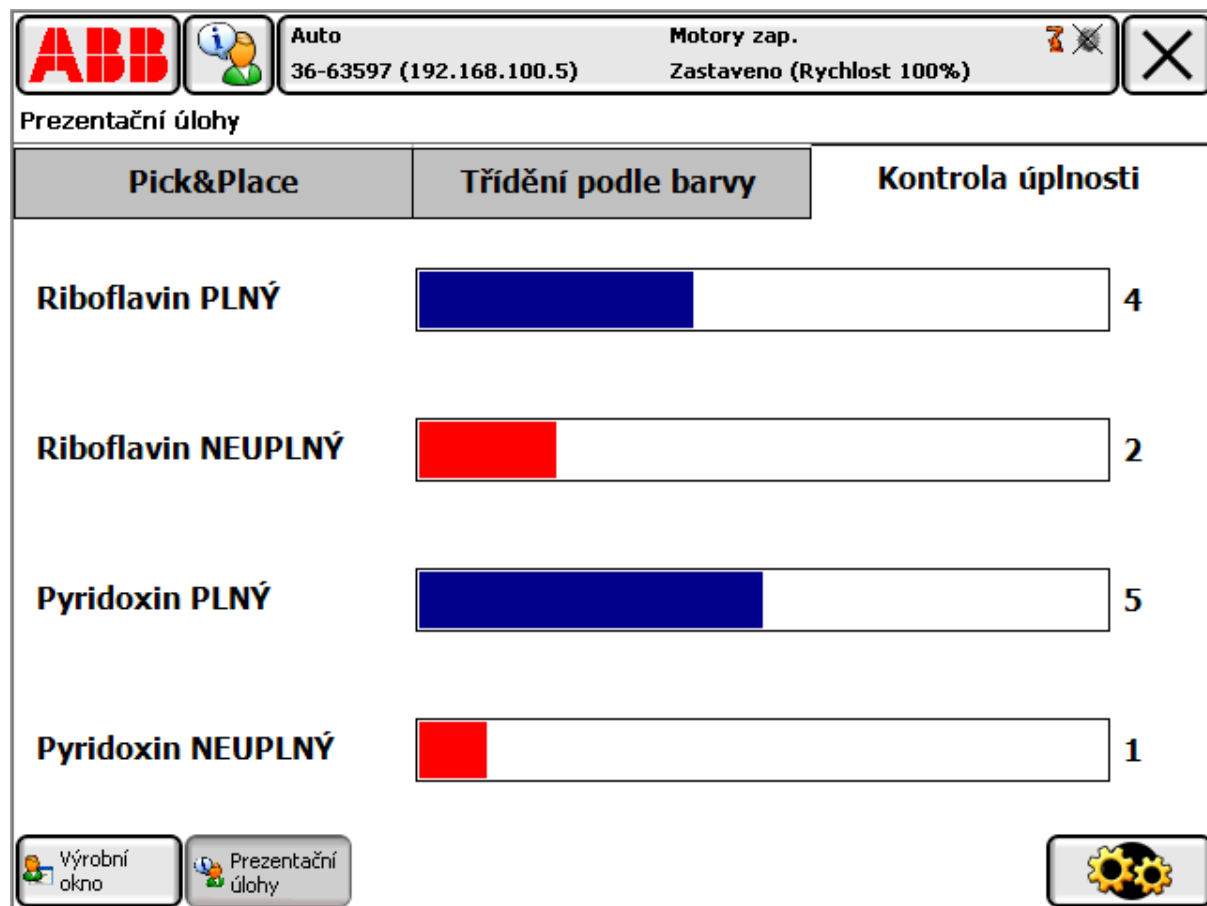
Na snímku se opět vyhledávají plochy, které mají nízký kontrast (černá barva), obsah mezi 60 a 90 mm² a kruhovitost v rozmezí 0 až 3 (obr. 4.34).



obr. 4.34 Výsledky inspekční analýzy

4.3.3 Rozšíření aplikace kontrola úplnosti

Aplikace byla rozšířena o uživatelské grafické rozhraní, které vypisuje naplnění jednotlivých kontejneru (obr. 4.35).



obr. 4.35 Uživatelské grafické rozhraní pro aplikaci kontrola úplnosti

Počítadlo bylo vytvořeno pomocí příkazu *Incr*, který přičítal jedničku do proměnných *plne_riboflavin*, *neuplne_riboflavin*, *plne_piridoxin* a *neuplne_piridoxin*.

5 Závěr

Diplomová práce se zabývá vytvořením a odladěním výukových aplikací na pracovišti s průmyslovým robotem IRB360 FlexPicker. Řešené aplikace využívají subsystém strojového vidění, instalovaného na pracovišti, s následnou analýzou obrazu a vyhodnocením v softwaru PickMaster.

V úvodu práce je popsána uzavřená, paralelní, kinematická struktura typu delta, její historie a vznik, použití v průmyslové robotice a neobvyklé využití struktury (kapitola 1). V další kapitole je popsán systém strojového vidění s jeho využitím v průmyslu. Dále jsou popsány jednotlivé prvky strojového vidění, kde patří: osvětlení, kamera a sběrnice (kapitola 2). Ve třetí kapitole jsou popsány jednotlivé části pracoviště s průmyslovým robotem IRB360 FlexPicker včetně zjednodušeného schématu zapojení (kapitola 3).

Hlavní část práce obsahuje vytvořené demonstrační aplikace včetně popisu zpracování obrazu. První aplikace je jednoduchá Pick&Place která má uživatele seznámit se základní prací a ovládáním SW PickMaster a tvorby třídící sekvence v Rapid kódu. Aplikace využívá ke zpracování obrazu pouze základní geometrickou analýzu obrazu (kapitola 4.1). Druhá aplikace je třídění objektu podle barvy, zde se uživatel naučí používat barevné filtry a následné měření kontrastu (kapitola 4.2). Poslední aplikace je inspekční kontrola, u které se kontroluje pláto s léky a jeho úplnost balení. Aplikace navazuje na znalosti z předchozích dvou aplikací a dále je rozšiřuje (kapitola 4.3).

Ke všem aplikacím byl vytvořen podrobný návod do cvičení (elektronická příloha) s popisem jednotlivých kroků programování. Přílohy dále obsahují vytvořené manuály, kalibrace PR IRB360 a synchronizace dopravníku, kamery a robotu, soubory pro program PickMaster včetně Rapid kódu a videa vytvořených aplikací.

Další náměty na pokračování jsou:

- Konstrukce více prvkového, přísavkového efektoru včetně naprogramování Pick&Place aplikace, kdy robot sebere více OM a najednou je všechny umístí do kontejneru.
- Naprogramování demonstrační aplikace simulující obtahování kontury (nanášení lepidla, tmelu).
- Rozšíření inspekčních úloh, například o měření rozměrů.

6 Seznam použité literatury a technických podkladů:

- [1] *Delta Parallel Robot*. [online]. © 2014 [cit. 2013-10-15]. Dostupné z: <http://www.parallemic.org/Reviews/Review002.html>
- [2] CLAVEL, Reymond. *Zařízení pro pohyb a umístění prvku v prostoru*. [Patent], US4976582. Uděleno 11. prosinec 1990. Dostupné z: <https://www.google.com/patents/US4976582>
- [3] POLLARD, Willard. *Pozice ovládající a řídicí přístroje*. [Patent], US2286571. Uděleno 16. červen 1942. Dostupné z: <https://www.google.com/patents/US2286571>
- [4] SCHMALZ | *Vacuum Technology* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.schmalz.com>
- [5] EQUATOR™ | *Univerzální měřicí systém™* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/equator-univerzalni-merici-system--13465>
- [6] SeeMeCNC | *Rostock MAX 3D Printer* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://seemecnc.com/products/rostock-max-complete-kit>
- [7] Codian Robotics B.V. [online]. © 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.codian-robotics.com/en/>
- [8] Festo Czech Republic | *EXPT, tripod*. [online]. © 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: http://www.festo.com/cat/cs_cz/products_EXPT
- [9] AsyriL | *Delta Robots*. [online]. © 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.asyriL.ch/en/products/delta-robots.html>
- [10] Links | *Tools Switching Systems*. [online]. © 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: http://www.links-china.com/numcontrol_jc/e_6machine-tool_new.htm

- [11] *Metrom - mechatronische Maschinen | Mobile Maschinen*: [online]. © 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.metrom.com/index.php?id=13>
- [12] *FCC průmyslové systémy s.r.o. | průmyslová automatizace* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.fccps.cz/default.asp?inc=inc/strojove-videni.htm>
- [13] *Snímače a převodníky | Kontrola tolerancí rozměrů strojních součástí kamerou* [online]. 2008, č. 3 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36924
- [14] *Microscan | Machine Vision Lighting* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.microscan.com/en-us/Technology/Machine%20Vision%20Lighting.aspx>
- [15] *Snímače a převodníky | Strojové vidění I*: [online]. 2008, č. 1 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36550
- [16] *Point Grey | interface-comparison* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.ptgrey.com/support/downloads/documents/interface-comparison-2012.pdf>
- [17] *ABB IRB 360 | Roboty (Robotika)* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/seitp327/6ee555051fd540fac125749f00375d79.aspx>
- [18] *IRB 360 | Data sheet* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/73be9c1fdd45bba5c1257c21004696e7/\\$file/ROB0082EN_G.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/73be9c1fdd45bba5c1257c21004696e7/$file/ROB0082EN_G.pdf)
- [19] *IRC5 | Data sheet* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/c13e1c5490c61230c125796000515137/\\$file/IRC5%20datasheet%20PR10258%20EN_R13.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/c13e1c5490c61230c125796000515137/$file/IRC5%20datasheet%20PR10258%20EN_R13.pdf)
- [20] *SEW-EURODRIVE | W: Spiroplan®* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.sew-eurodrive.cz/produkt/w-spiroplan-spiroidn-p-evodov-motor.htm>

- [21] *Technidrive* | *OMRON* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.technidrive.co.uk/media/uploads/JX%20inverter%20brochure.pdf>
- [22] *SICK* | *Incremental encoders* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=FinderSearch&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&FamilyID=497&Category=Produktfinder&Selections=29141>
- [23] *Basler Industrial Cameras* | *Scout* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.baslerweb.com/products/scout.html?model=121>
- [24] *Fujifilm Europe* | *HF9HA-1B* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: http://www.fujifilm.eu/uploads/tx_ffproducts/files/files/DF6_HF9HA-1B_01.pdf
- [25] *ABB PickMaster* | *SW produkty* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/seitp327/6d52bccc823a4833c1256fdc00282a12.aspx?productLanguage=cz&country=CZ>
- [26] *ABB Product Manual IRB360*. [DVD dodané k robotu]
- [27] *ABB Product Manual IRB360*. [DVD dodané k robotu]
- [28] *ABB PickMaster 3 Application manual..* [DVD dodané k robotu]
- [29] *ABB Product Specification IRB360*. [DVD dodané k robotu]

7 Seznam příloh na CD

Přílohy jsou pouze v elektronické podobě.

- Diplomová práce Tomáš Červenka
- Defaultní RAPID kód
- Manuály
 - Kalibrace IRB360
 - Synchronizace kamery IRB360
 - Návod do cvičení
- Manuály ABB
 - conveyor manual
 - IRB 360 Product manual
 - Pickmaster 3 User guide
 - RAPID instructions, functions, datatypes
 - RAPID overview
 - Robot Communication and IO Control
 - smb irb360
 - wiring diag
- Model pracoviště
- Programy PM rapid
 - 1 pick&place
 - pick&place.pmproj
 - RAPID pick&place
 - 2 třídění žetonů
 - trideni_zetonu.pmproj
 - RAPID třídění žetonů
 - 3 kontrola úplnosti
 - kontrola úplnosti.pmproj
 - RAPID kontrola úplnosti
- ScreenMaker_prezentacni_aplikace
- Video
 - inspekci_aplikace
 - P&P_trideni_barvy